Mémoire de recherche forestière
n° 101

ÉVALUATION DES CÔNES DE PIN GRIS EN VUE DE LA RÉCOLTE DE SEMENCES DE QUALITÉ

par: S. Mercier
T. Morrissette
et D. Blanchette

recherche
Québec

Stéphan MERCIER est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1986. En 1991, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences. Il est à l'emploi du Service de l'amélioration des arbres depuis avril 1988 à titre de chargé de recherches sur les semences et pollens d'arbres forestiers.

Thomas MORISSETTE a obtenu son diplôme en foresterie de l'Université Laval en 1979. Il a été à l'emploi du Service de la régénération forestière de novembre 1982 à juillet 1990 comme responsable du soutien professionnel et technique à l'activité de récolte de cônes et de semences.

Dominique BLANCHETTE a fait ses études à l'Université Laval où elle obtenait un baccalauréat en statistique en 1989. Elle a travaillé pour le Service de la recherche appliquée de mai à octobre 1989 à titre d'assistante-statisticienne.

Depuis de nombreuses années, chacun des Mémoires et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Forêts du Québec.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande au:

Service du transfert de technologie
Ministère des Forêts du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

91-05085/

Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité

« On récolte ce qu'on a semé. »
(Dicton populaire)

Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité

par

Stéphan MERCIER, ing.f., M.Sc.
Thomas MORISSETTE, ing.f.
et
Dominique BLANCHETTE, statisticienne

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE
n° 101

Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts
Direction de la recherche
1991

Ce texte constitue le rapport final du projet de recherche n° 832440 :
« Étude sur les cônes et les semences de pin gris ».

ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-21657-1
Dépôt légal - Deuxième trimestre 1991
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© Gouvernement du Québec 1991

Avant-propos

Le Service de la régénération forestière (S.R.F.) a entrepris en 1984 une étude sur la morphologie des cônes de pin gris. Le but de cette démarche était alors de vérifier si l'âge de ces cônes, leur morphologie et leur état phytosanitaire influaient sur le rendement et la qualité des semences produites.

En 1988, le S.R.F. demanda au Service de l'amélioration des arbres (S.A.A.) de participer au ce projet pour compléter la démarche en réalisant les analyses statistiques, en faisant ressortir les conclusions et en présentant les recommandations aux responsables régionaux de la récolte des cônes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les gestionnaires des régions administratives du Ministère qui ont collaborées à ce projet : Saguenay – Lac-Saint-Jean (02), Trois-Rivières (04), Montréal (06), Outaouais (07) et Abitibi-Témiscamingue (08) ainsi que les responsables du Centre de greffage de Duchesnay qui ont permis le traitement des cônes dans leur établissement.

Nous nous devons également d'adresser des remerciements à MM. Louis-Charles Godin et Jacques Grenier, du Service de la régénération forestière, et Carol Parent, du Service de l'amélioration des arbres, qui ont assuré la partie technique de ce projet ainsi que la compilation des données.

Il est également important de signaler que les tests de germination ont été réalisés par le personnel du Centre de semences forestières de Berthier.

Nous ne saurions non plus oublier Mme Lise Charette du Service de la recherche appliquée pour ses précieux conseils en biométrie, Mme Sylvie Bourassa de la Direction de la recherche pour la dactylographie du texte, ainsi que M. Fabien Caron du Service du transfert de technologie, qui a révisé le texte final et en a assuré l'édition définitive.

Résumé

La qualité et le rendement en semences du pin gris peuvent être déterminés à partir de la morphologie, de l'âge et de l'état phytosanitaire des cônes au moment de leur récolte. Les cônes qui ont une courbure supérieure à 8 mm et une longueur supérieure à 50 mm sont les plus productifs en semences. Toutefois, les graines issues de cônes courbés ont un poids frais moins élevé que la moyenne. L'étude fait également ressortir des analyses de régression qui permettent d'estimer la valeur totale des cônes récoltés, le poids des semences et leur nombre. Le pin gris produit des cônes sérotineux qui se maintiennent durant plusieurs années sur l'arbre. Il apparaît que l'âge du cône n'affecte ni la quantité ni le rendement des semences mais il est recommandé de récolter les cônes jusqu'à un âge de 6 ans inclusivement. Les cônes piqués produisent des semences qui ont la même viabilité que celle des cônes sains même s'ils contiennent en général 25 pour 100 moins de semences.

Mots-clés: pin gris, *Pinus banksiana* (Ait.) Dumont, cônes sérotineux, semence, récolte, morphologie, phytosanitaire, sélection, qualité des semences.

Abstract

Morphology and age of jack pine cones and their phytosanitary condition time were used to predict seed yield and quality. Cones at collection longer than 50 mm and with a marked curve (8 mm deviation from the longitudinal axis) yielded the maximum seed number. However, seeds extracted from curved cones had the lowest fresh weight values. The study also presents some regressions which permit to estimate total volume of cone crop, seed fresh weight, and seed number. Jack pine cones are serotinous and remain on tree for several years. Seed number and quality were unaffected by cone age but we recommand to collect the cones before they are 7-year old. Diseased or insect-damaged cones yielded 25 percent less seeds than healty cones without any change in seed viability.

Key-words: *jack pine,* Pinus banksiana *(Ait.) Dumont, serotinous cone, cone collection, cone morphology, cone conditions, seed quality.*

Table des matières

Avant-propos v

Remerciements v

Résumé vii

Abstract vii

Table des matières ix

Liste des tableaux xiii

Liste des figures xvii

Introduction 1

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Récolte des échantillons 3

1.2 Traitements et mesure des cônes 3

1.2.1 Effet de l'âge sur le rendement et la qualité des semences 5

1.2.2 Étude du rendement en semences des cônes piqués 7

1.2.3 Effet de la morphologie du cône sur la production de semences de qualité 7

1.3 Extraction, conservation et test sur les semences 7

Chapitre II

Résultats et discussion

2.1 Généralités 9

2.1.1 Travaux antérieurs 9

2.1.2 Discussion sur le rendement en semences 9

2.2 Effet de l'âge des cônes sur le rendement et la qualité des semences 10

2.2.1 Effet sur le taux de germination 12

2.2.2 Effet sur le rendement en semences 14

2.2.3 Effet sur le nombre de semences par cône 15

2.3 Effet des cônes piqués sur le rendement et la qualité des semences 19

2.3.1 Effet sur le taux de germination 19

2.3.2 Effet sur le nombre de semences par cône 19

2.3.3 Effet sur le poids pour 1 000 semences 19

2.3.4 Interactions entre les effets 22

2.4 Effet de la morphologie des cônes sur la qualité et la quantité de semences 23

2.4.1 Description de la forme typique des cônes de pin gris et informations connexes 28

2.4.2 Effet de la grosseur des cônes 29

2.4.2.1 Relation existant entre le volume sec des cônes et les caractéristiques des semences produites 29

2.4.2.2 Relation entre le volume sec et le volume humide 30

2.4.3 Effet de la courbure et de la longueur du cône 30

2.4.3.1 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le rendement en semences 35

2.4.3.2 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le nombre de semences par cône 35

2.4.3.3 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le poids des semences 35

Chapitre III

Synthèse et recommandations

3.1 Effet de l'âge du cône sur la quantité et la qualité des semences 37

3.2 Effet de l'état phytosanitaire des cônes sur la quantité et la qualité des semences 37

3.3 Effet de la morphologie du cône sur la quantité et la qualité des semences 37

Références 39

Liste des tableaux

Tableau 1	Situation et description des provenances	4
Tableau 2	Caractéristiques des arbres sélectionnés dans l'étude pour chaque provenance	4
Tableau 3	Nombre de cônes récoltés par classe d'âge et par provenance	5
Tableau 4	Grille de classification morphologique des cônes sains de pin gris de 0 à 3 ans suivant la courbure et la longueur du cône	7
Tableau 5	Description des classes d'âge de cônes avec annotation	10
Tableau 6	Analyse de variance des moyennes des taux de germination pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance	11
Tableau 7	Résultats du L.S.D. de FISHER pour le taux de germination selon les provenances pour chacune des classes d'âge	13
Tableau 8	Résultats du L.S.D. de FISHER pour le taux de germination selon les classes d'âge pour chacune des provenances	13

Tableau 9 Récolte annuelle de cônes de pin gris réalisée par le Ministère entre 1977 et 1985 14

Tableau 10 Analyse de variance et contrastes orthogonaux des rendements moyens en semences pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance 15

Tableau 11 Analyse de variance et contrastes orthogonaux du nombre moyen de semences par cône entre les classes d'âge pour chacune des provenances 16

Tableau 12 Analyse de variance des taux moyens de germination entre les états phytosanitaires des cônes 0-3 ans pour chacune des provenances 18

Tableau 13 Résultats du L.S.D. de FISHER pour les taux moyens de germination selon l'état phytosanitaire des cônes pour chacune des provenances 20

Tableau 14 Analyse de variance du nombre moyen de semences par cône entre les états phytosanitaires des cônes pour chacune des provenances 20

Tableau 15 Résultats du L.S.D. de FISHER sur le nombre moyen de semences par cône selon l'état phytosanitaire pour chacune des provenances 21

Tableau 16 Analyse de variance du poids moyen pour 1 000 semences entre les états phytosanitaires des cônes pour chacune des provenances 22

Tableau 17 Test de corrélation de PEARSON entre le nombre moyen de semences par cône, le poids pour 1 000 semences et le taux moyen de germination pour les cônes piqués et sains 22

Tableau 18 Comparaison de certains paramètres liés aux semences de pin gris, entre la moyenne pour le pin gris et ceux de l'étude 24

Tableau 19 Test de corrélation de PEARSON entre le volume sec des cônes ainsi que le poids, la quantité, le rendement et le taux de germination des semences de pin gris 28

Tableau 20 Analyse de variance et estimation des paramètres de régression entre le volume sec et le volume humide des cônes 29

Tableau 21 Test de corrélation de PEARSON entre la courbure, la longueur et la classe morphologique des cônes 31

Tableau 22 Analyse de variance du rendement en semences entre les classes de longueur et les classes de courbure 32

Tableau 23 Analyse de variance du nombre des semences par cône entre les classes de longueur et les classes de courbure 32

Tableau 24 Analyse de variance du poids des semences entre les classes de longueur et les classes de courbures 32

Liste des figures

Figure 1	Schématisation des triages des cônes selon leur âge, leur état phytosanitaire et leur classe morphologique	3
Figure 2	Détermination de l'âge d'un cône à partir du dénombrement des verticilles	6
Figure 3	Détermination de l'âge d'un cône à partir du dénombrement des cernes annuels	6
Figure 4	Détermination de la longueur du cône	8
Figure 5	Détermination de la courbure du cône	8
Figure 6	Interaction entre les moyennes des taux de germination pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance	11
Figure 7	Interaction entre les rendements moyens en semences pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance	14
Figure 8	Interaction entre les nombres moyens de semences par cône pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance	17
Figure 9	Interaction entre les taux moyens de germination pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance	17

Figure 10 Interaction entre les nombres moyens de semences par cône pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance 18

Figure 11 Interaction entre les poids moyens pour 1 000 semences pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance 21

Figure 12 Histogramme du nombre de cônes par classe de courbure 23

Figure 13 Histogramme du nombre de cônes par classe de longueur 24

Figure 14 Histogramme du nombre de cônes par classe morpho logique 25

Figure 15 Analyse en composantes principales des provenances, des classes de courbure et des classes de longueur 26

Figure 16 Relation existant entre les volumes sec et humide des cônes 27

Figure 17 Interaction entre le rendement moyen en semences et les classes de longueur pour chacune des classes de courbures 31

Figure 18 Interaction entre le nombre moyen de semences par cône et les classes de longueur pour chacune des classes de courbure 33

Figure 19 Interaction entre le poids des semences et les classes de longueur pour chacune des classes de courbure 33

Figure 20 Histogramme du rapport entre le poids des semences et le nombre de semences par cône pour chaque classe de longueur 34

Figure 21 Histogramme du rapport entre le poids des semences par le nombre de semences par cône pour chaque classe de courbure 34

Introduction

La préoccupation essentielle des producteurs de plants forestiers est d'avoir, au moment de l'ensemencement, des lots de semences de bonne qualité. Dans cette optique, le ministère des Forêts se doit d'optimiser la récolte des semences afin de constituer économiquement une réserve adéquate pour toutes les essences nécessaires dans chacune des zones où l'on prévoit réaliser un reboisement.

Pour être efficace, le programme de récolte de cônes doit consister à produire des semences de la meilleure qualité possible. Le terme « qualité » a deux significations : il réfère autant à des caractéristiques physiques (dimensions, maturité, pouvoir germinatif, etc.) qu'au potentiel génétique de la croissance et de résistance du plant produit (CARPENTIER et TREMBLAY 1972). Si la qualité de la graine forestière est déterminée par ses origines, elle est assurée par la suite grâce à des soins appropriés aux diverses étapes de la production. L'une de ces étapes réside à apporter une attention spéciale lors de la cueillette en récoltant les cônes durant leur période de maturation et en s'assurant de leur bonne condition morphologique et phytosanitaire (Vézina 1978).

Le pin gris [*Pinus banksiana* (Alt.) Dumont] est la seconde essence en importance au Québec en terme de reboisement. De plus, contrairement à l'ensemble des conifères, le pin gris peut conserver sur l'arbre et durant plusieurs années les cônes et les semences qu'ils renferment. Toutefois, il existe peu de connaissance entourant la viabilité des semences en fonction de l'âge du cône, de sa morphologie et de son état phytosanitaire.

La présente étude aura donc pour objet de répondre à cette problématique en s'intéressant principalement à trois points:

1. Évaluer le rendement en semences du cône et la qualité de celles-ci en relation avec l'âge du cône.

2. Vérifier la qualité et le rendement en semences des cônes « piqués »; c'est-à-dire ceux qui ont été affectés par les insectes, les maladies ou tout autre facteur adverse.

3. Établir les relations possibles entre la morphologie des cônes de pin gris et leur rendement en semences de qualité.

Les connaissances acquises par cette étude devront permettre de rentabiliser davantage la récolte de cônes de pin gris en précisant les caractéristiques morphologiques des cônes à récolter; ce qui devrait se traduire par une augmentation de la qualité des semences récoltées et du rendement en semences des cônes traités en usine.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Récolte des échantillons

L'échantillonnage des cônes a été réalisé en 1984 et 1985. On a retenu au total 14 provenances réparties à travers l'aire naturelle du pin gris au Québec. Le tableau 1 précise la localisation de chacune des provenances, le nom du canton ainsi que la région écologique correspondante.

Les peuplements retenus pour l'expérience sont âgés en général d'au moins 50 ans. Ils sont constitués principalement de pin gris parfois accompagné d'épinette noire [*Picea mariana* (Mill.)], de sapin baumier [*Abies balsamea* (L.) Mill.], de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) ou de tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Ils poussent sur des sites plutôt plats ou vallonnés, caractérisés par des dépôts d'épaisseur variable, eux-mêmes constitués de matériel plus ou moins grossier, le plus souvent à prédominance de sable et au drainage moyen à rapide. La végétation au sol est dominée par des arbustes appartenant aux Éricacées (*Vaccinium, Ledum*, etc.; GRANDTNER 1966).

Pour chacune de ces provenances, entre 10 et 25 arbres ont été choisis aléatoirement parmi les dominants et les codominants. Ces arbres présentaient une cime bien développée et portaient une quantité suffisante de cônes de tous âges. Au moment de la récolte, les arbres étaient abattus et laissés sur place en vue d'une récupération ultérieure. Le tableau 2 présente les caractéristiques moyennes des arbres sélectionnés.

1.2 Traitements et mesure des cônes

La figure 1 schématise l'ensemble des triages réalisés à partir des cônes récoltés.

Figure 1. Schématisation des triages des cônes selon leur âge, leur état phytosanitaire et leur classe morphologique

Tableau 1. Situation et description des provenances

N°	Nom de la provenance	Unité de gestion	Canton[1]	Région[2] écologique
1	Notre-Dame-de-la-Doré	22	n.s.[3]	8i
2	Roberval	22	Charlevoix	8i
3	Chute-des-Passes	24	n.s.	12b
4	Chibougamau	26	Guercheville et Laribourde	12b
5	La Tuque	42	Chasseur	7a2
6	Saint-Michel-des-Saints	62	Laviolette	7a2
7	Mont-Laurier	64	Pérodeau	7a2
8	Fort-Coulonge	71	Marche	3i
9	Maniwaki	73-74	Briand	7a2
10	Ville-Marie	81	Shehyn	3j
11	Rouyn	82	La Pause	8c1
12	Senneterre	84	Courville	8c1
13	La Sarre	85	Bourque	12a
14	Amos	86	Duvernay	8c1

[1] Selon Lamontagne et Bégin (1984)
[2] Selon Thibault et Hotte (1985)
[3] n.s. = non subdivisé

Tableau 2. Caractéristiques des arbres sélectionnés dans chaque provenance

N°	Nom de la provenance	Nombre d'arbres	D.H.P. moyen (cm)	Hauteur moyenne (m)	Âge moyen (ans)	Degré de fructification	Année de récolte
1	Notre-Dame-de-la-Doré	25	23	18	90	Moyen-Bon	1984
2	Roberval	25	25	20	75	Moyen-Très bon	1984
3	Chutes-des-Passes	16	35	22	89	Moyen-Bon	1984
4	Chibougamau	21	23	18	74	Moyen-Très bon	1984
5	La Tuque	14	28	19	62	Bon	1985
6	Saint-Michel-des-Saints	15	34	23	79	Moyen-Très bon	1985
7	Mont-Laurier	15	23	18	48	Bon-Très bon	1985
8	Fort-Coulonge	15	32	22	87	Moyen-Très bon	1985
9	Maniwaki	13	25	18	56	Bon-Très bon	1985
10	Ville-Marie	10	26	21	81	Moyen-Très bon	1985
11	Rouyn	10	24	18	41	Bon	1985
12	Senneterre	15	30	18	60	Moyen-Très bon	1985
13	La Sarre	15	31	16	61	Bon	1985
14	Amos	12	28	20	62	Moyen-Bon	1985

1.2.1 Effet de l'âge sur le rendement et la qualité des semences

Dès leur récolte, les cônes étaient regroupés selon des classes d'âges préalablement déterminées, c'est-à-dire 0 à 3 ans, 4, 5, 6 ans et 7 ans et plus. L'âge du cône était alors défini comme étant « la période de temps passé par celui-ci sur l'arbre depuis le moment de sa maturité »; cette évaluation pouvait être réalisée selon deux méthodes, sur la base du principe que les cônes femelles sont toujours produits sur les pousses de l'année et prennent deux années à mûrir (Lyons 1956), soit :

1) en dénombrant les verticilles à partir de l'extrémité du rameau (figure 2);

2) en comptant le nombre de cernes annuels du rameau au niveau du point d'attache du cône (figure 3).

Pour une plus grande précision, les deux méthodes étaient souvent utilisées en complémentarité.

Chaque lot de cônes récoltés a été conservé séparément (sous abri et à l'air ambiant) selon sa classe d'âge jusqu'à son traitement au Centre de greffage de Duchesnay. Le tableau 3 donne la répartition des cônes selon leur classe d'âge et leur provenance.

Avant leur traitement, les cônes étaient triés selon leur état phytosanitaire; nous n'avons conservé pour cette étape que les cônes sains (20 cônes sélectionnés au hasard dans la classe d'âge des 0-3 ans). Le traitement des cônes et des semences ainsi que la prise de données furent réalisés séparément par classe d'âge et pour chacun des arbres sélectionnés. Pour chacun de ces lots nous avons dénombré les cônes, mesuré leur volume, déterminé le pourcentage de recouvrement du cône par la mousse et le lichen et, enfin, dénombré les semences par cône et réalisé un test de germination.

Tableau 3. Nombre de cônes récoltés par classe d'âge et par provenance

N°	Nom de la provenance	Classes d'âge					Total
		0-3	4	5	6	7 ans et +	
1	Notre-Dame-de-la-Doré	6 054	1 124	771	915	3 226	12 090
2	Roberval	4 053	781	575	465	1 819	7 693
3	Chute-des-Passes	3 023	1 474	1 056	738	1 848	8 139
4	Chibougamau	2 638	856	637	607	1 619	6 537
5	La Tuque	2 276	953	762	486	1 232	5 709
6	Saint-Michel-des-Saints	2 429	904	931	663	2 009	6 936
7	Mont-Laurier	2 859	932	789	611	1 067	6 258
8	Fort-Coulonge	2 789	1 275	1 196	1 065	2 005	8 330
9	Maniwaki	2 317	1 102	928	540	1 024	5 911
10	Ville-Marie	1 858	505	462	579	1 143	4 547
11	Rouyn	2 187	652	516	534	1 531	5 420
12	Senneterre	2 493	904	724	745	1 472	6 338
13	La Sarre	2 950	993	969	839	2 515	8 266
14	Amos	1 817	754	513	328	1 397	4 809
	Total	39 743	13 209	10 829	9 115	23 907	96 803
	Moyenne/provenance	2 839	943	773	651	1 708	6 914
	Moyenne/arbre	180	60	49	41	108	438

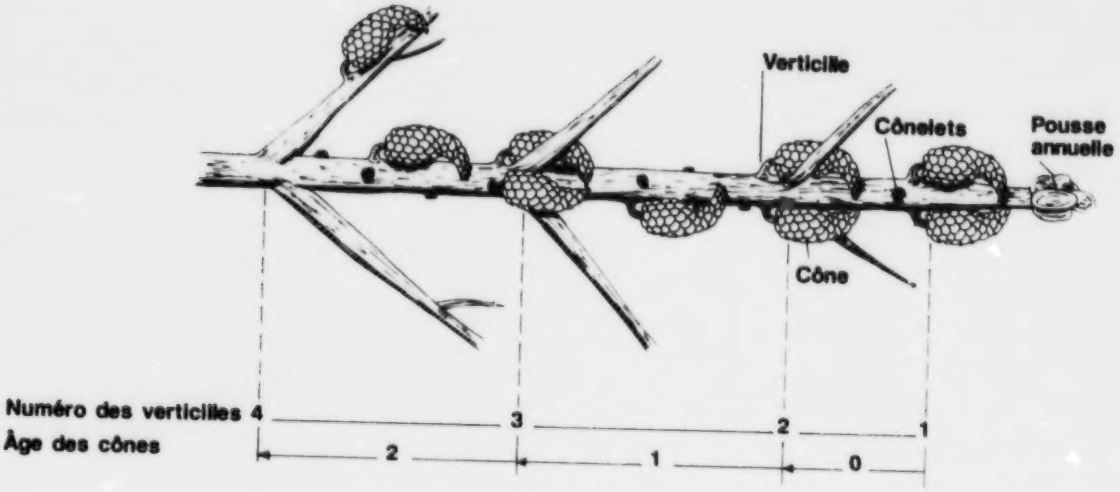

Figure 2. Détermination de l'âge d'un cône à partir du dénombrement des verticilles

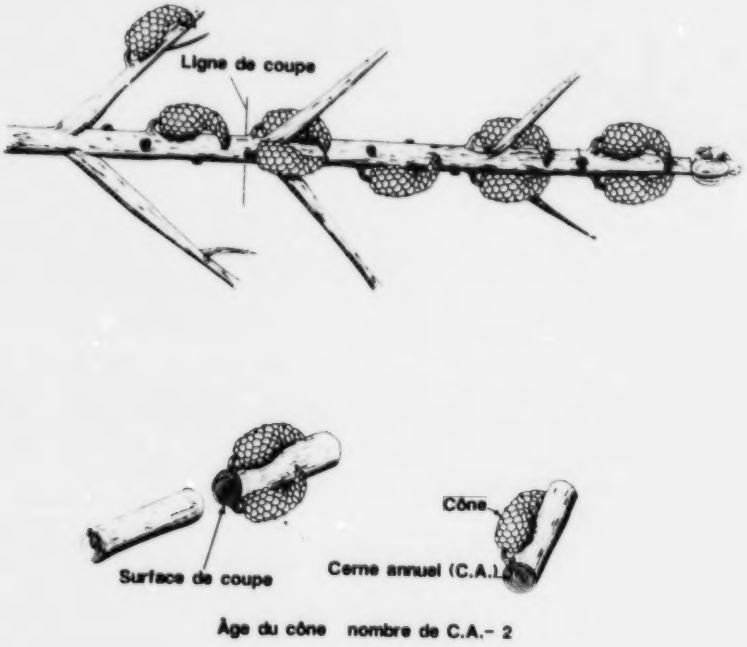

Figure 3. Détermination de l'âge d'un cône à partir du dénombrement des cernes annuels

Tableau 4. Grille de classification morphologique des cônes sains de 0 à 3 ans suivant la courbure et la longueur du cône

Longueur (mm)	Courbure (mm)				
	3	4 à 7	8 à 10	11 à 13	14
30	1	2	3	4	5
31 à 35	6	7	8	9	10
36 à 40	11	12	13	14	15
41 à 50	16	17	18	19	20
51	21	22	23	24	25

Le volume des cônes a été déterminé selon deux méthodes :

1) détermination du « volume sec » des cônes, en mesurant directement le groupe de cônes à l'aide d'un récipient gradué (becher ou seau);

2) détermination du « volume humide » des cônes, qui correspond au volume d'eau déplacé par le groupe de cônes lorsqu'on les immerge dans un récipient gradué (cylindre, becher ou seau) partiellement rempli d'eau.

Cette seconde technique est de loin plus précise que la précédente. Toutefois, la première présente l'avantage d'être beaucoup plus pratique.

1.2.2 Étude du rendement en semences des cônes piqués

Nous avons dénombré les cônes piqués de 0 à 3 ans et déterminé leur volume.

1.2.3 Effet de la morphologie du cône sur la production de semences de qualité

Les cônes sains résiduels de 0 à 3 ans retenus (voir 1.2.1) ont été classés selon la grille présentée au tableau 4, qui tient compte à la fois de la longueur et de la courbure du cône, pour toutes les provenances.

La longueur du cône s'obtient en mesurant la distance maximale en ligne droite entre le sommet et la base du cône (figure 4). La courbure du cône est déterminée par la déviation de l'axe principal du cône par rapport aux extrémités. Elle s'obtient en mesurant l'éloignement maximal de l'axe du cône (flèche) de la ligne imaginaire joignant la base et le sommet du cône (figure 5).

Pour chacune des classes morphologiques ainsi obtenues, on a mesuré le volume des cônes selon les techniques décrites à la section 1.2.1.

1.3 Extraction, conservation et test sur les semences

Les cônes furent chauffés à 65°C durant près de 20 heures. L'extraction des semences fut réalisée par brassage dans un tarare de fabrication artisanale. On procéda au désailage par frottement des graines dans un sac de coton et à leur nettoyage au moyen d'un souffleur *Seed Blower* modèle *ER-SP* de *New Brunswick General*. Les semences ainsi extraites ont été conservées dans une chambre froide à + 4 ° C. Le comptage des semences s'est fait au compteur électronique et le pesage fut réalisé au centième de gramme près (0,01 g).

Enfin, les tests de germination furent réalisés par le Centre des semences forestières de Berthier en respect avec les règles établies par l'*International Seed Testing Association* (1985).

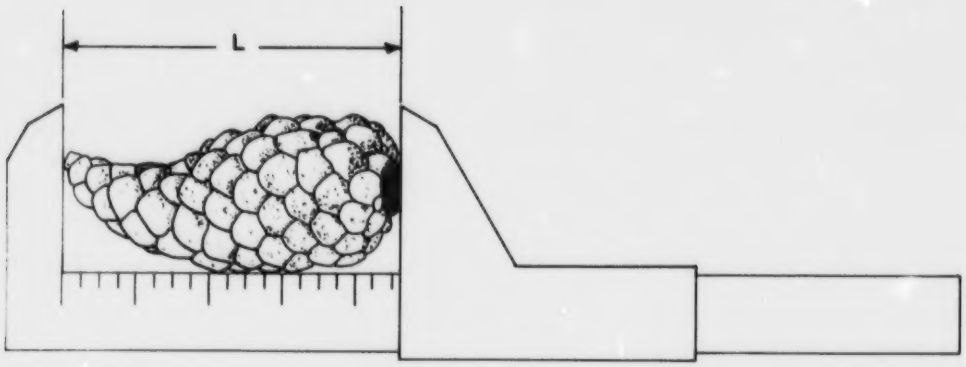

Figure 4. Détermination de la longueur du cône

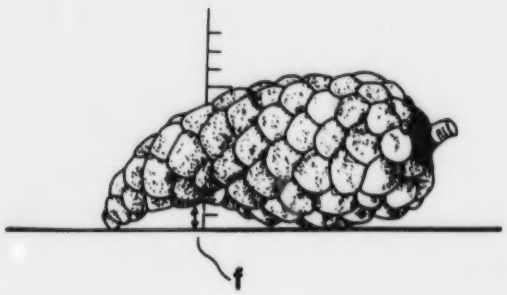

Figure 5. Détermination de la courbure du cône

Chapitre II

Résultats et discussion

2.1 Généralités

2.1.1 Travaux antérieurs

Il est clair que la qualité des semences est essentielle au succès du programme de reboisement. Toutefois, il n'est pas suffisant de produire des semences de qualité, encore faut-il les produire en quantité suffisante.

Plusieurs chercheurs américains et ontariens se sont intéressés aux cônes du pin gris puisque ces cônes sérotineux retiennent les semences à l'abri durant plusieurs années sur l'arbre (CHROSCIEWICZ 1988; GAGNON et MORIN 1987; TODHUNTER et POLK 1981; POPOVICH *et al.* 1970; RUDOLF et RALSTON 1953). Il s'avère cependant difficile de vouloir appliquer ces résultats tels quels au Québec compte tenu de l'existence de différences notables dans le comportement des divers peuplements de pin gris dans le nord de l'Amérique (BEAUDOIN 1973; YEATMAN 1964).

En fait, plusieurs auteurs ont pu démontrer que la combinaison du génotype et des facteurs environnementaux affectait significativement le taux de germination des semences, le taux de semences pleines, le rendement, la taille des cônes et, par conséquent, le nombre de graines par cône (STOEHR et FARMER 1986; VERHEGGEN et FARMER 1983; POPOVICH *et al.* 1970; POPOVICH 1969).

Jusqu'à ce jour, le Service de la régénération forestière recommandait aux cueilleurs de ne récolter que les cônes qui sont parvenus à maturité et qui sont encore fermés. De plus:

« [...] Ils ne doivent pas porter de traces d'attaques par les insectes et les maladies. Les cônes de pin gris doivent être droits, de couleur brune ou brune et grise. Il faut éviter de cueillir des cônes qui sont complètement gris ou porteurs de mousse puisque ces indices prouvent qu'ils ont au moins trois ans. Leur rendement en semences risquerait alors d'être plus faible » (ANONYME 1986).

Beaudoin (1973) démontre qu'il est préférable de prospecter la partie supérieure de la cime en retenant surtout les cônes droits puisque leur courbure n'a que peu d'influence sur le nombre de semences.

2.1.2 Discussion sur le rendement en semences

Le rendement en semences est défini dans cette étude comme étant :

$$REND = \frac{P_s}{VS_c}$$

où $REND$ = Rendement en semences
P_s = Poids des semences (g)
VS_c = Volume sec des cônes (hl).

Certains auteurs signalent des différences appréciables en termes de rendement en semences selon les provenances de pin gris (LAMONTAGNE et FERNET 1971, STOECKELER et JONES 1957). Il semble que l'explication de cette différence réside davantage dans la méthode d'extraction employée, qui doit sûrement être différente. En effet, l'une des phases de l'extraction consiste à séparer les graines des saletés, soit au moyen d'un tri densimétrique à l'eau, soit par un courant d'air artificiel.

Or, selon la vélocité de ce courant d'air, plus ou moins de semences vides seront conservées. Si la vélocité du vent est plus faible, la quantité des semences extraites d'un lot donné sera plus élevée, ce qui implique que le rendement sera meilleur pour une même qualité de semence (LAMONTAGNE et FERNET 1971).

Un second facteur susceptible d'influencer le rendement en semences, selon la situation géographique du peuplement, est la taille des graines. Pour plusieurs espèces, des corrélations négatives ont été établies entre le poids des semences et la latitude (MERGEN *et al.* 1964, RUDOLF et RALSTON 1958), c'est-à-dire que pour une même essence, les semences nordiques sont généralement plus petites que celles du Sud. Si la semence est plus petite, il y en aura beaucoup plus par gramme, d'où un rendement moins élevé.

Tableau 5. Description des classes d'âge de cônes avec annotation

Classe	Âge des cônes correspondants	Année de maturation	Remarques
1	Regroupement des cônes de 0 à 3 ans	1981 à 1984	Correspond aux recommandations du S.R.F. et de CARPENTIER et TREMBLAY (1972)
2	4 ans	1980	
3	5 ans	1979	
4	6 ans	1978	
5	Regroupement des cônes de 7 ans et plus	1977 et avant	Correspond à l'âge où commence l'apparition de la mousse et du lichen sur les cônes

[1] En dépit des temps de récolte différents (automne 1984 pour les provenances 1 à 4 et printemps pour les provenances 5 à 14), les cônes de l'année alors recueillis avaient tous atteint leur maturité au même moment (1984) quelle que soit la provenance considérée

Par conséquent et contrairement au test de germination qui, s'il est bien réalisé, devrait être semblable pour un même lot, peu importe l'opérateur ou le type de germoir utilisé – le rendement en semences ne donne qu'une valeur relative qui est propre à un appareil particulier. C'est pourquoi les rendements décrits dans la présente étude ne devront être considérés que comme base de comparaison entre les différents lots de semences.

2.2 Effet de l'âge des cônes sur le rendement et la qualité des semences

L'âge des cônes semble être le critère le plus utilisé par l'ensemble des chercheurs qui ont travaillé sur cette essence (CHROSCIEWICZ 1988, EDWARDS 1986, TODHUNTER et POLK 1981, BEAUDOIN 1973, CARPENTIER et TREMBLAY 1972, NIKONUK 1970, POPOVICH *et al.* 1970). Ces auteurs se sont basés principalement sur des critères qualitatifs comme la couleur des cônes, leur position sur le rameau et la présence de lichens et de mousses sur les cônes, pour évaluer leur âge. Certains ont conclu que les cônes âgés retenaient des semences aussi viables que les plus jeunes (EDWARDS 1986, NIKONUK 1970, POPOVICH *et al.* 1970) alors que d'autres recommandent d'éviter la récolte des cônes de plus de sept ans (TODHUNTER et POLK 1981), de plus de cinq ans (MORRISSETTE 1990) voire de plus de quatre ans (BEAUDOIN 1973).

CARPENTIER et TREMBLAY (1972) suggèrent de façon générale, pour l'ensemble des essences résineuses au Québec, de cueillir les « cônes de l'année », à l'exception du pin gris, dont il est permis de récolter les cônes âgés de 1 à 3 ans. Toutefois, lorsque ceux-ci présentent plus de surface grise que de surface jaunâtre, on doit les rejeter puisque ces auteurs considèrent qu'ils sont trop âgés. À plus forte raison ceux sur lesquels apparaît de la mousse.

Dans la pratique courante au Québec, on refuse généralement les cônes gris foncé ou noirs ainsi que ceux qui sont couverts en tout ou en partie de lichens ou de mousses (ANONYME 1987, 1986).

Il est important de bien pouvoir cerner cette question pour rentabiliser davantage la cueillette en récoltant le maximum de cônes sur un même arbre sans toutefois altérer la qualité des semences. Il serait intéressant de pouvoir récolter tous les 3 à 4 ans puisque cet intervalle correspond à celui des bonnes années semencières chez le pin gris (HAWEY 1982) et qu'il est préférable de récolter les graines durant ces années (SCHOPMEYER 1974). Par conséquent, il est important de connaître l'âge maximal auquel on peut récolter les cônes sans altérer la qualité ni la quantité des semences qu'ils contiennent.

C'est pour ces raisons que nous avons décidé de comparer cinq classes d'âge (tableau 5).

Pour connaître l'âge réel des cônes, il faut ajouter deux années qui correspondent au temps de développement des cônes du pin avant qu'ils atteignent leur maturité. À titre d'exemple, l'âge réel des cônes de la classe 2 serait de 6 ans puisqu'ils ont été récoltés en 1984; on peut conclure qu'ils ont été conçus en 1978 et ont atteint leur maturité en 1980.

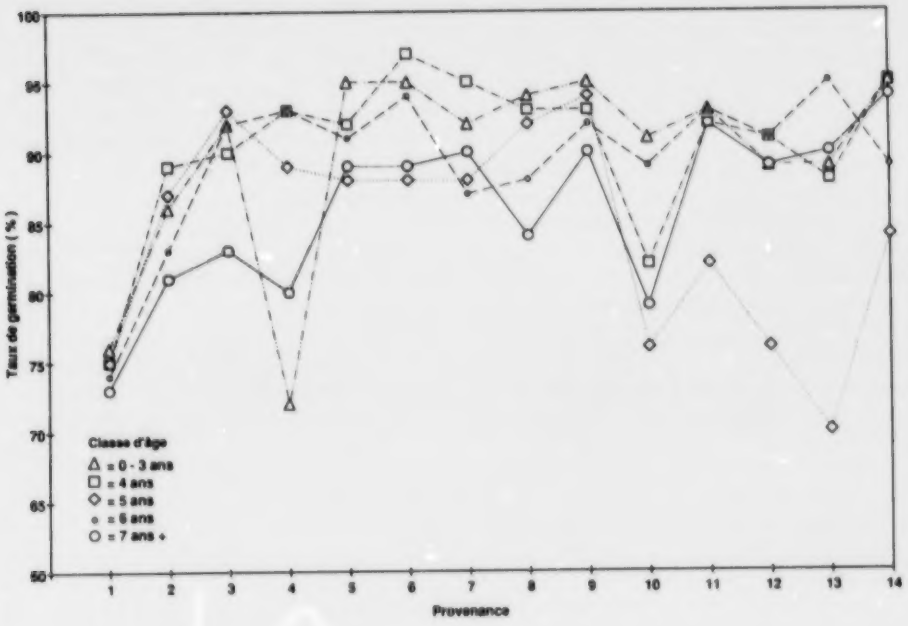

Figure 6. Interaction entre les moyennes des taux de germination pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance

Tableau 6. Analyse de variance des moyennes des taux de germination pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	69	$1,88 \times 10^{27}$	$2,72 \times 10^{25}$	10,31	0,0001***	0,4141	39,31
Erreur	1 007	$2,66 \times 10^{27}$	$2,64 \times 10^{24}$				
Total corrigé	1 076	$4,53 \times 10^{27}$					

Source	dl	Type III SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Provenance	13	$1,04 \times 10^{27}$	30,38	0,0001***
Âge	4	$2,97 \times 10^{26}$	28,15	0,0001***
Prov. X âge	52	$5,56 \times 10^{26}$	4,05	0,0001***

*** indique la présence de différences très significatives avec un niveau de confiance de 99 p. 100

2.2.1 Effet sur le taux de germination

Les moyennes des taux de germination pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance se situent entre 80 et 95 p. 100, à l'exception de la provenance 1 (Notre-Dame-de-la-Doré) dont les résultats tournent autour de 75 p. 100 (figure 6), ce qui est excellent si on compare ces valeurs à la moyenne pour le pin gris qui est de 83,5 p. 100 (HAWEY 1982).

La figure 6 illustre les interactions entre les moyennes des taux de germination pour chacune des provenances. Nous nous sommes permis de joindre les points d'une même classe d'âge par une ligne afin de visualiser ces interactions. Toutefois, il n'est pas possible d'interpoler les valeurs obtenues entre deux provenances.

De ce dernier graphique, aucune classe d'âge ne ressort suffisamment des autres pour qu'on puisse en tirer immédiatement une conclusion. On remarque aisément qu'il existe une interaction entre l'âge et les provenances puisque les cinq courbes s'entrecroisent. Une analyse de variance a donc dû être réalisée afin de déceler d'éventuelles différences significatives (tableau 6).

Toutefois, on ne pouvait appliquer directement l'analyse de variance à ces données vu le nombre variable de semences d'une provenance à une autre. Les moyennes furent donc ajustées selon une « transformation exacte », en accord avec Montgomery (1986);

$$GERM_t = (GERM_B)^{6.453}$$

où $GERM_t$ = Taux de germination transformé
$GERM_B$ = Taux de germination brut.

Ainsi, l'analyse de variance montre qu'il existe des différences très significatives entre les classes d'âge (= 0,01) et entre les provenances et que, de plus, il y a interaction entre les classes d'âge et les provenances. L'exécution d'un L.S.D. de FISHER nous permettra de regrouper, avec un seuil de précision de 95 p. 100, les classes d'âge et les provenances qui n'ont pas de taux de germination significativement différents entre eux (tableaux 7 et 8).

Le tableau 7 montre bien qu'il n'est pas possible de tirer une conclusion générale pour tout le Québec, puisqu'il fait ressortir les grandes variations génétiques des peuplements qu'ont décrites certains auteurs (CHROSCIEWICZ 1988, BEAUDOIN 1973, POPOVICH *et al.* 1970, YEATMAN 1964).

À l'exception de la provenance 4 (Chibougamau), nous n'avons observé aucune différence significative entre les classes d'âge 1, 2 et 4 (tableau 8). Toutefois les classes d'âge 3 et 5 montrent à plusieurs reprises qu'elles ont un taux de germination inférieur à celui des autres classes d'âge. En ce qui concerne la classe d'âge 5 (cônes âgés de 7 ans et plus), il est raisonnable de croire que l'âge du cône ait pu affecter la viabilité des semences.

Par contre, nous avons certaines réserves concernant une telle interprétation pour les cônes de la classe 3 (cônes âgés de 5 ans). En effet, on peut se demander pourquoi des cônes de 5 ans produisent des semences moins viables que des cônes de 4 ans (classe 2) et des cônes de 6 ans (classe 4).

Plusieurs études ont démontré que la qualité des semences est largement liée aux bonnes années semencières (WANG 1988, EDWARDS 1979, SORENSEN et FRANKLIN 1977, SCHOPMEYER 1974, WANG 1972). Malheureusement, il n'est pas possible de connaître le niveau de fructification du pin gris en 1980 qui correspond à l'année du début de maturation des cônes de la classe 3 pour les provenances 5 à 14 (tableau 2). Les chiffres de production de cônes fournis par le ministère de l'Énergie et des Ressources (tableau 9) ne sont pas nécessairement liés au degré de fructification pour une année particulière. D'autres facteurs peuvent être responsables de cette variation d'une année à l'autre: les besoins en plants pour le reboisement, la quantité de semences, l'organisation locale de la récolte de cônes et le budget alloué à celle-ci en sont des exemples. En effet, une année peut être excellente pour une espèce donnée mais la réserve de semences étant suffisante ou le budget restreint pour l'année en question ont fait que peu de cônes ont été cueillis cette année-là. Il faut aussi tenir compte du fait que ce ne sont pas seulement les cônes de l'année de maturation qui sont récoltés sur le pin gris.

Des études menées en Ontario (YEATMAN 1984) et en Nouvelle-Écosse (HON et ELDRIDGE 1981) mentionnent que 1980 fut une piètre année de fructification dans ces deux provinces. Il est raisonnable de croire que tel fut aussi le cas pour le Québec, ce qui expliquerait la chute du taux de germination pour les cônes de la classe 3. Malgré tout, il n'est pas possible de tirer une conclusion ferme à ce sujet. Il semble assez clair que l'âge auquel on désire récolter les cônes ne doit pas dépasser 6 ans et qu'il faut éviter de récolter les cônes qui parviennent à maturité durant les années de production médiocre.

Tableau 7. Résultats du L.S.D. de Fisher du taux de germination selon les provenances pour chacune des classes d'âge

Classe d'âge	Âge correspondant	Provenance[1]
1	0 à 3 ans	5 - 14 - 7 - 3 - 6 - 4 - 8 - 9 - 11 - 12 - 2 - 13 - 10 - 1
2	4 ans	6 - 14 - 9 - 5 - 8 - 11 - 7 - 3 - 13 - 12 - 10 - 2 - 4 - 1
3	5 ans	9 - 3 - 8 - 4 - 6 - 5 - 2 - 7 - 14 - 11 - 12 - 10 - 1 - 13
4	6 ans	6 - 11 - 4 - 13 - 3 - 5 - 9 - 12 - 7 - 14 - 10 - 8 - 2 - 1
5	7 ans et +	14 - 11 - 5 - 13 - 7 - 9 - 6 - 12 - 8 - 3 - 10 - 2 - 4 - 1

[1] Les lignes sous les chiffres regroupent les provenances dont les taux de germination ne sont pas significativement différents entre eux avec un niveau de signification de 95 p. 100. Les provenances sont positionnées selon un ordre décroissant des taux de germination. Par exemple: à la classe d'âge 1, bien que le taux de germination de la provenance 5 soit légèrement supérieur à celui de provenance 14, on ne peut pas conclure qu'ils sont significativement différents l'un de l'autre. Le recoupement des lignes indique la zone de transition entre les deux groupes de provenances

Tableau 8. Résultats du L.S.D. de Fisher du taux de germination selon les classes d'âge pour chacune des provenances

N° de la provenance	Nom de la provenance	Classes d'âge[1]
1	Notre-Dame-de-la-Doré	1 - 2 - 3 - 4 - 5
2	Roberval	1 - 2 - 3 - 4 - 5
3	Chute-des-Passes	1 - 3 - 4 - 2 - 5
4	Chibougamau	1 - 4 - 3 - 2 - 5
5	La Tuque	1 - 2 - 4 - 5 - 3
6	Saint-Michel-des-Saints	2 - 4 - 1 - 5 - 3
7	Mont-Laurier	1 - 2 - 4 - 5 - 3
8	Fort-Coulonge	2 - 1 - 3 - 4 - 5
9	Maniwaki	2 - 3 - 1 - 4 - 5
10	Ville-Marie	2 - 4 - 1 - 5 - 3
11	Rouyn	4 - 2 - 5 - 1 - 3
12	Senneterre	1 - 2 - 4 - 5 - 3
13	La Sarre	4 - 2 - 5 - 1 - 3
14	Amos	1 - 2 - 5 - 4 - 3

[1] Les lignes sous les chiffres regroupent les classes d'âge dont les taux de germination ne sont pas significativement différents entre eux avec un niveau de signification de 95 p. 100. Les classes d'âge sont positionnées selon un ordre décroissant des taux de germination. Le recoupement des lignes indique la zone de transition entre les deux groupes de classes d'âge.

Tableau 9. Récolte annuelle de cônes de pin gris réalisée par le M.E.R. entre 1977 et 1985[1]

Année	Volume de cônes (hl)	Année	Volume de cônes (hl)
1977	1 006	1982	4 806
1978	4 734	1983	7 380
1979	3 104	1984	6 495
1980	5 290	1985	2 113
1981	7 959		

[1]Données fournies par le Service de la régénération forestière

2.2.2 Effet sur le rendement en semences

Nous avons déterminé le rendement en semences qui sont issues des cônes de chacune des classes d'âge afin de voir si cette dernière variable pouvait avoir un effet significatif sur la production de graines. Seule la provenance 1 (Notre-Dame-de-la-Doré) n'a pu être étudiée à cause du faible échantillonnage dont elle a fait l'objet.

La figure 7 présente l'interaction entre les rendements moyens en semences pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance. On remarque que le rendement en semences oscille entre 400 et 800 g/hl, ce qui est encore nettement supérieur à la moyenne pour le pin gris qui est de 405 g/hl (HAWEY 1982). À première vue, il n'existe pas de différences entre les classes d'âge en ce qui concerne le rendement en semences.

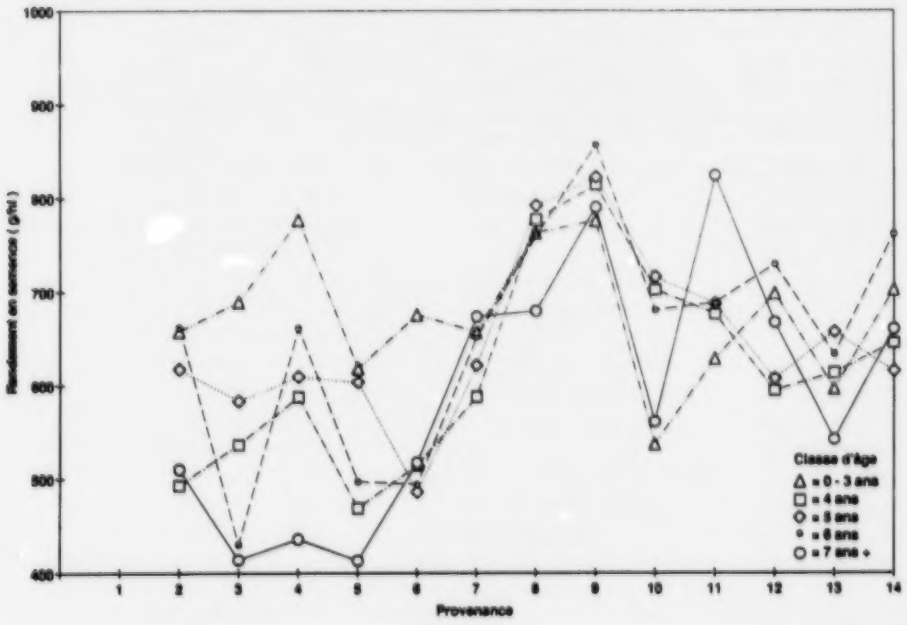

Figure 7. Interaction entre les rendements moyens en semences pour chacune des classes d'âge, pour chaque provenance

Toutefois, l'analyse de variance montre des différences significatives à un seuil de précision de 95 p. 100 entre les classes d'âge, entre les provenances et entre les classes d'âge et les provenances (tableau 10). Évidemment, afin d'obtenir une homogénéité de l'erreur expérimentale, nous avons procédé à une transformation des données brutes selon la méthode de Montgomery (1986);

$$\sqrt{REND_t} = REND_B$$

où $REND_t$ = Nombre de semences après traitement
$REND_B$ = Nombre de semences brutes.

La réalisation de contrastes orthogonaux montre qu'en fait, les seules différences significatives se situent pour la provenance 9 (Maniwaki) où l'on retrouve un moins bon rendement en semences pour les cônes de 0 à 3 ans (tableau 10). Sinon, pour l'ensemble du territoire québécois, on ne peut conclure que l'âge affecte le rendement en semences.

Comme nous l'avons vu à la section 2.1.2, il semblerait que le rendement en semences est un paramètre qui est surtout lié aux variations génétiques et à certains critères morphologiques. C'est pourquoi l'on trouve une plus grande variation entre les provenances qu'entre les classes d'âge.

2.2.3 Effet sur le nombre de semences par cône

Jusqu'à présent, nous avons déterminé que l'âge du cône n'affecte pas vraiment la qualité des semences produites, sans nous soucier de leur quantité.

Par définition, les cônes sérotineux sont des cônes qui s'ouvrent très difficilement à l'état naturel et nécessitent un apport de chaleur qui provoque leur désarticulation. Nous sommes donc enclins à croire que, jusqu'à une certaine limite, l'âge du cône n'aura que peu d'effet sur le nombre de semences qu'il contient.

Tableau 10. Analyse de variance et contrastes orthogonaux des rendements moyens en semences pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	63	4 225,83	67,08	4,41	0,0001***	0,24	15,74
Erreur	879	13 358,84	15,20				
Total corrigé	942	17 584,68					

Source	dl	Type IV SC	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*
Provenance	13	2 454,63	40,01	2,63	0,0335**
Âge	4	160,62	188,74	12,42	0,0001***
Prov. X âge	46	1 029,59	22,38	1,47	0,0238**
Contrastes					
Prov. 2 Âge 1 *vs* toutes	1	59,82		3,63	0,0573
Prov. 3 Âge 2 *vs* 3, 4, 5	1	19,03		1,25	0,2635
Prov. 4 Âge 1 *vs* toutes	1	24,45		1,61	0,2050
Prov. 5 Âge 2 *vs* 3, 4, 5	1	5,52		0,36	0,5468
Prov. 6 Âge 1 *vs* toutes	1	52,74		3,47	0,0629
Prov. 7 Âge 1 *vs* toutes	1	43,69		2,81	0,0941
Prov. 8 Âge 1 *vs* toutes	1	0,88		0,06	0,8089
Prov. 9 Âge 1 *vs* toutes	1	98,88		6,50	0,0109**
Prov. 10 Âge 1 *vs* toutes	1	36,04		2,37	0,1240
Prov. 11 Âge 1 *vs* toutes	1	1,21		0,08	0,7784
Prov. 12 Âge 1 *vs* toutes	1	36,24		2,38	0,1230
Prov. 13 Âge 1 *vs* toutes	1	5,51		0,36	0,5473
Prov. 14 Âge 1 *vs* toutes	0	Non estimé		-	-

** Indique la présence de différences significatives avec un seuil de précision de 95 p. 100
*** Indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100.

Tableau 11. Analyse de variance et contrastes orthogonaux du nombre moyen de semences par cône entre les classes d'âge pour chacune des provenances

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	61	13 298,16	218,00	3,78	0,0001***	0,21	29,02
Erreur	858	49 496,82	57,66				
Total corrigé	919	62 767,98					

Source	dl	Type IV SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Provenance	12	7 896,01	11,41	0,0001***
Âge	4	908,36	3,94	0,0036***
Prov. X âge	45	4 085,80	1,57	0,0104**
Contrastes				
Prov. 2 Âge 1 *vs* tous	1	125,50	2,18	0,1405
Prov. 3 Âge 2 *vs* 3, 4, 5	1	453,77	7,87	0,0051***
Prov. 4 Âge 1 *vs* tous	1	13,74	0,24	0,6255
Prov. 5 Âge 2 *vs* 3, 4, 5	1	0,23	0,00	0,9500
Prov. 6 Âge 2 *vs* 3, 4, 5	1	51,06	0,89	0,3470
Prov. 7 Âge 1 *vs* tous	1	67,66	1,17	0,2790
Prov. 8 Âge 1 *vs* tous	1	200,76	3,48	0,0624*
Prov. 9 Âge 1 *vs* tous	1	84,20	1,46	0,2272
Prov. 10 Âge 1 *vs* tous	1	96,47	1,67	0,1962
Prov. 11 Âge 1 *vs* tous	1	84,20	1,46	0,2272
Prov. 12 Âge 1 *vs* tous	1	10,45	0,18	0,6703
Prov. 13 Âge 1 *vs* tous	1	16,84	0,29	0,5890
Prov. 14 Âge 1 *vs* tous	0	0,04	0,00	0,9779

* Indique la présence de différences faiblement significatives avec un seuil de précision de 90 p. 100
** Indique la présence de différences significatives avec un seuil de précision de 95 p. 100
*** Indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

L'analyse de variance indique la présence de différences très significatives entre les provenances, de sorte que l'on peut croire que le nombre de semences par cône est un facteur génétique (tableau 11 et figure 8). Il est néanmoins surprenant de constater qu'il existe également des différences très significatives entre les classes d'âge.

Un L.S.D. de FISHER ne peut s'appliquer à ce modèle puisqu'il nous manque des informations sur la classe d'âge 0-3 ans pour les provenances 3, 5 et 6. De plus, nous avons éliminé la provenance 1 pour laquelle nous ne possédions que des renseignements partiels. Pour toutes ces raisons, nous avons dû nous rabattre sur la réalisation de contrastes orthogonaux où l'on compare la classe d'âge 0-3 ans aux autres classes. Nous avons remplacé cette dernière classe d'âge par la classe 2 pour les provenances 3, 5 et 6 (tableau 11).

On observe ainsi qu'il existe des différences très significatives entre le nombre de semences par cône selon les classes d'âge pour la provenance 3 (Chûte-des-Passes) et faiblement significatives pour la provenance 8 (Fort-Coulonge). L'âge du cône ne semble pas avoir d'effet pour les autres provenances.

Contrairement au L.S.D. de FISHER, les contrastes orthogonaux ne permettent pas de déceler si les cônes produits durant une mauvaise année semencière du pin gris, comme en 1980, ne contiennent pas moins de semences par cône que les années de production supérieure. Une telle démonstration expliquerait les résultats obtenus pour la provenance 3.

En définitive, nous pouvons conclure que l'âge du cône n'affecte pas de façon pratique la quantité de semences par cône.

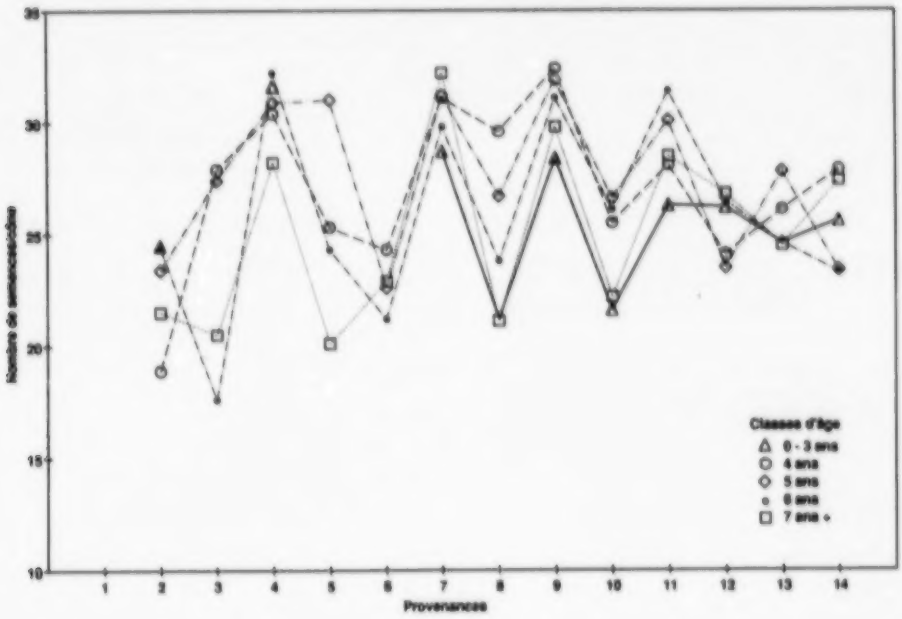

Figure 8. Interaction entre les nombres moyens de semences par cône pour chacune des classes d'âge et pour chaque provenance

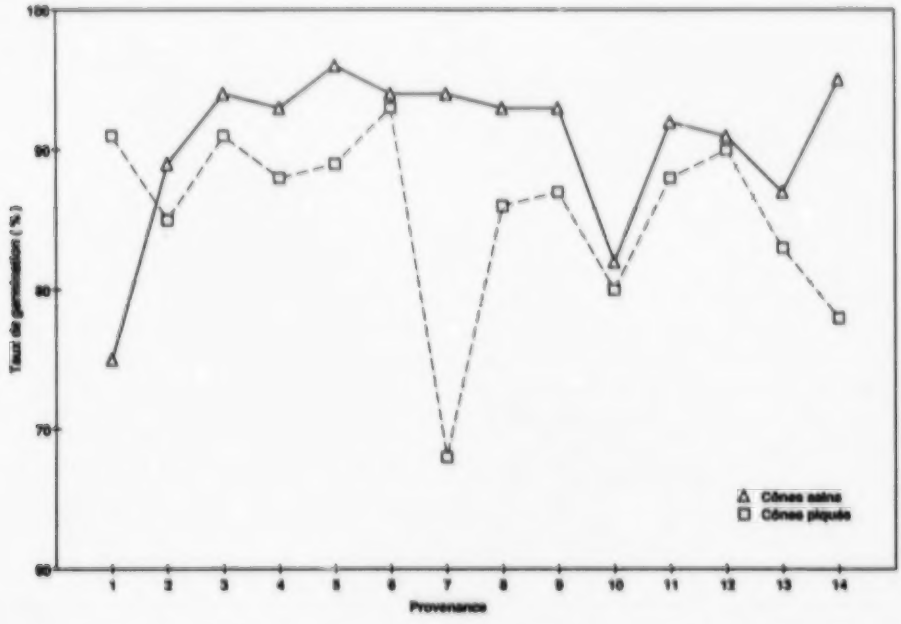

Figure 9. Interaction entre les taux moyens de germination pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance

Tableau 12. Analyse de variance des taux de germination entre les états phytosanitaires des cônes 0-3 ans pour chacune des provenances

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*		R^2	C
Modèle	233	4,09	0,017	2,89	0,0001***	0,78	8,82	
Erreur	181	1,10	0,006					
Total corrigé	414	5,17						

Source	dl	Type III SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Arbre	206	2,34	1,88	0,0001***
Provenance	13	0,62	7,94	0,0001***
État phytosanitaire	1	0,23	38,26	0,0001***
Prov. X état	13	0,94	11,90	0,0001***

*** Indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

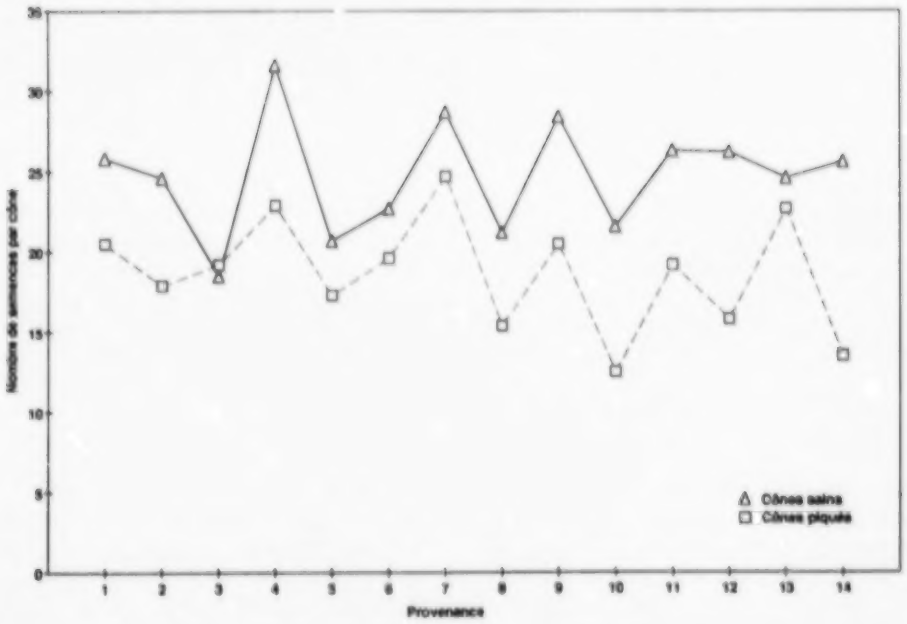

Figure 10. Interaction entre les nombres moyens de semences par cône pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance

2.3 Effet des cônes piqués sur le rendement et la qualité des semences

De prime abord, nous sommes enclins à croire que les cônes piqués produisent des semences de moindre qualité et en moins grandes quantités que les cônes sains. Le terme « cônes piqués » désigne ceux qui ont été affectés par les insectes ou les maladies ou qui présentent une malformation morphologique à la suite de phénomènes adverses.[1]

Nous nous sommes spécialement intéressés aux cônes âgés de moins de 3 ans qui correspondent aux âges qui sont le plus souvent récoltés au Québec (ANONYME 1986, 1987). Il serait hasardeux de penser que l'on pourra extrapoler les résultats obtenus dans cette étude aux cônes plus âgés puisque aucun ouvrage à notre connaissance n'a pu répondre aux questions suivantes :

1 – Chez le pin gris, les cônes plus âgés subissent-ils les mêmes malformations et les mêmes attaques d'insectes et de pathogènes et avec la même sévérité que les cônes plus jeunes? Ou ne sont-ils pas davantage vulnérables à ces différents facteurs ?

2 – La nature-même des malformations et des attaques est-elle identique peu importe l'âge du cône ?

Pour ces raisons il ne nous sera pas permis de conclure autrement que pour les cônes âgés de 0 à 3 ans.

2.3.1 Effet sur le taux de germination

La figure 9 présente les taux moyens de germination pour chacune des provenances. Dans ce graphique, il est clair que les taux de germination des cônes piqués sont légèrement inférieurs à ceux des cônes sains.

L'analyse de variance démontre qu'il existe des différences très significatives entre les arbres, entre les provenances, entre les états phytosanitaires et entre les provenances et les états phytosanitaires, avec un seuil de précision de 99 p. 100 (tableau 12). Un L.S.D. de Fisher indique que ces différences entre les états phytosanitaires se retrouvent pour les provenances 1, 7 et 14 (tableau 13). On remarque toutefois qu'en ce qui concerne la provenance 1 (Notre-Dame-de-la-Doré), le taux de germination des cônes piqués est nettement supérieur à celui des cônes sains.

Tout porte à croire que les grandes variations observées entre les provenances et même entre les arbres correspondent davantage à la diversité des causes qui peuvent induire des malformations dans cônes piqués. De plus, il faut tenir compte de la résistance génétique de certains peuplements face à tel ou tel facteur biotique ou abiotique.

Dans la pratique, on n'observe pas de différences suffisamment notables pour conclure que les cônes piqués produisent des semences moins viables que les cônes sains.

2.3.2 Effet sur le nombre de semences par cône

Pour l'ensemble des provenances, les cônes piqués semblent produire moins de semences par cône que ceux qui sont sains (figure 10). L'analyse de variance confirme qu'il existe des différences très significatives, à un niveau de confiance de 99 p. 100, entre les états phytosanitaires mais également entre les arbres, entre les provenances ainsi qu'entre les états phytosanitaires et les provenances (tableau 14). Le tableau 15 localise ces différences significatives entre les états phytosanitaires pour chacune des provenances selon le L.S.D. de FISHER.

Ce dernier tableau montre qu'il existe effectivement une différence très significative pour neuf des quatorze provenances. Somme toute, les cônes piqués produisent 24,7 p. 100 moins de semences par cône que ceux qui sont sains.

2.3.3 Effet sur le poids pour 1 000 semences

La figure 11 ne démontre que très peu de différences en termes de poids pour 1 000 semences entre les cônes sains et les cônes piqués. Seule la provenance 9 (Maniwaki) présente un poids en semences pour les cônes piqués qui est nettement supérieur à la moyenne des provenances (près de 1,5 plus élevé) et nous sommes enclins à croire que cette observation serait une valeur aberrante.

---

1 La littérature est avare d'information concernant l'effet de ces malformations sur les semences de pin gris bien que certains auteurs recommandent de ne pas récolter les cônes déformés (Anonyme 1987; Anonyme 1986)

Tableau 13. Résultats du L.S.D. de Fisher sur les taux moyens de germination selon l'état phytosanitaire des cônes pour chacune des provenances (α = 0,05)

N° de la provenance	Nom de la provenance	Taux de germination (%)		Différences significatives observées
		Cônes sains	Cônes piqués	
1	Notre-Dame de la Doré	75	91	oui
2	Roberval	89	85	non
3	Chute-des-Passes	94	91	non
4	Chibougamau	94	88	non
5	La Tuque	96	89	non
6	Saint-Michel-des-Saints	94	93	non
7	Mont-Laurier	94	68	oui
8	Fort-Coulonge	93	86	non
9	Maniwaki	93	87	non
10	Ville-Marie	82	80	non
11	Rouyn	92	89	non
12	Senneterre	91	89	non
13	La Sarre	87	84	non
14	Amos	95	76	oui
	Moyenne	91	86	

Tableau 14. Analyse de variance du nombre moyen de semences par cône entre les états phytosanitaires des cônes pour chacune des provenances

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	233	23 575,55	100,97	5,17	0,0001***	0,86	20,07
Erreur	206	3 963,11	19,52				
Total corrigé	436	27 488,66					

Source	dl	Type III SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Arbre	206	14 812,16	3,68	0,0001***
Provenance	13	3 826,50	15,08	0,0001***
État phytosanitaire	1	3 771,60	193,19	0,0001***
Prov. X état	13	1 186,25	4,67	0,0001***

*** indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

Tableau 15. Résultats du L.S.D. de Fisher sur le nombre moyen de semences par cône selon l'état phytosanitaire pour chacune des provenances ($\alpha = 0,05$)

N° de la provenance	Nom de la provenance	Nombre moyen de semences par cône		Présence de différences significatives
		Cônes sains	Cônes piqués	
1	Notre-Dame de la Doré	25,75	20,46	oui
2	Roberval	24,56	17,90	oui
3	Chute-des-Passes	18,47	19,19	non
4	Chibougamau	31,58	22,94	oui
5	La Tuque	20,69	17,28	non
6	Saint-Michel-des-Saints	22,73	19,63	non
7	Mont-Laurier	28,69	24,68	non
8	Fort-Coulonge	21,21	15,42	oui
9	Maniwaki	28,44	20,49	oui
10	Ville-Marie	21,62	12,53	oui
11	Rouyn	26,28	19,21	oui
12	Senneterre	26,17	14,86	oui
13	La Sarre	24,57	22,67	non
14	Amos	25,77	13,53	oui
	Moyenne	24,75	18,63	

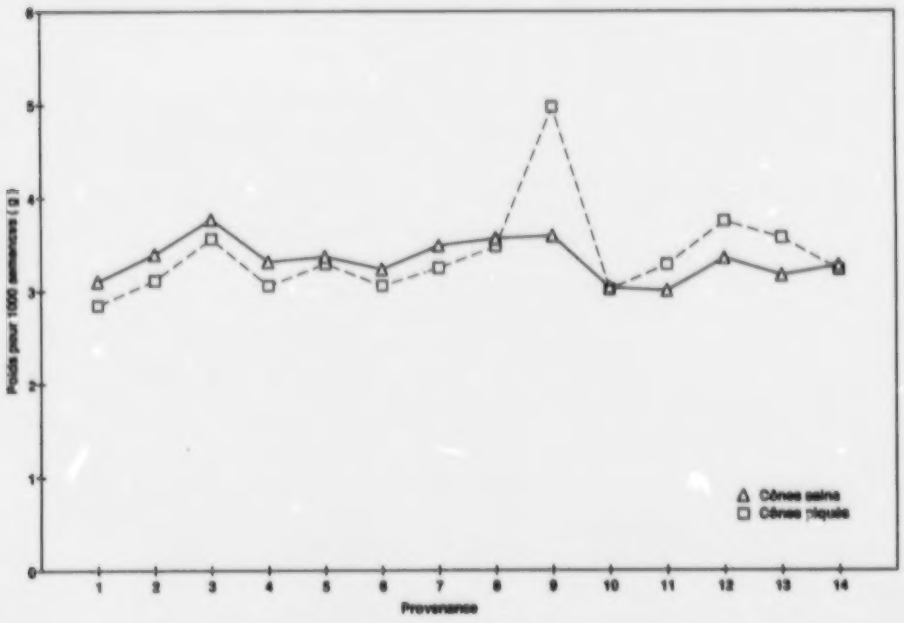

Figure 11. Interaction entre les poids moyens pour 1 000 semences pour chacun des états phytosanitaires des cônes et pour chaque provenance

Tableau 16. Analyse de variance du poids moyen pour 1 000 semences entre les états phytosanitaires des cônes pour chacune des provenances

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	233	219,59	0,94	2,50	0,0001***	0,74	18,37
Erreur	201	75,74	0,38				
Total corrigé	434	295,33					

Source	dl	Type III SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Arbre	206	159,96	2,06	0,0001***
Provenance	13	40,34	8,24	0,0001***
État phytosanitaire	1	0,44	1,15	0,2841
Prov. X état	13	19,29	3,94	0,0001***

*** Indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

Il existe des différences très significatives entre les provenances, entre les arbres ainsi qu'entre les états phytosanitaires et les provenances (tableau 16). Toutefois, il n'apparaît aucune différence significative entre les états phytosanitaires.

Comme pour les taux de germination, il n'y a aucune raison de croire que le poids des semences varie selon l'état phytosanitaire et que les variations enregistrées sont davantage d'ordre génétique et probablement environnemental et propres à chacune des provenances (voir section 2.4).

2.3.4 Interactions entre les effets

Nous avons réalisé un test de corrélation de PEARSON afin de déceler l'existence de relations linéaires entre les trois facteurs étudiés précédemment, c'est-à-dire le nombre moyen de semences par cône, le poids pour 1 000 semences et le taux moyen de germination entre les cônes sains et piqués (tableau 17).

Ce test permet de constater qu'il n'existe aucune relation linéaire entre ces trois facteurs. En définitive, nous pouvons conclure que l'état phytosanitaire des

Tableau 17. Test de corrélation de PEARSON entre le nombre moyen de semences par cône, le poids pour 1 000 semences et le taux moyen de germination pour les cônes piqués et sains

	Nombre moyen de semences par cône	Poids pour 1 000 semences	Taux moyen de germination
Nombre moyen de semences par cône	1,00000[1] 0,0000[2] 437[3]	- 0,00915 0,8493 434	0,03262 0,5080 414
Poids pour 1 000 semences		1,00000 0,0000 435	0,00860 0,8621 411
Taux moyen de germination			1,00000 0,0000 415

1 Coefficient de corrélation de PEARSON
2 Valeur de *p*
3 Nombre d'observations

cônes affecte le nombre de semences par cône de près de 25 p. 100 sans influencer la viabilité et le rendement des semences restant dans le cône.

2.4 Effet de la morphologie des cônes sur la qualité et la quantité de semences

Pour des raisons d'ordre génétique, il est recommandé d'utiliser les semences dans la même zone où elles ont été cueillies (ANONYME 1986, VÉZINA 1978). La récolte doit donc s'effectuer de préférence en plusieurs points à l'intérieur de chaque zone. Pour ces mêmes raisons, il ne faut cueillir que sur les « beaux arbres », c'est-à-dire sur des individus aux branches fines, à la cime étroite et exempts de maladies (ANONYME 1987). Ce choix est d'autant plus important que ces caractères sont héréditaires.

Ainsi, les semences de pin gris sont récoltées à partir d'une très grande diversité génétique. On sait d'autre part que le pin gris est une essence extrêmement variable à plusieurs points de vue (STOEHR et FARMER 1986, VERGHEGGEN et FARMER 1983, HOLST 1962). D'après certaines études (RUDOLF 1958), la taille des cônes et des semences de cette essence serait en liaison étroite avec la situation environnementale et géographique de la population. De fait, les parties les plus chaudes de l'aire naturelle ont tendance à produire des semences de plus grandes dimensions que celles qu'on rencontre dans les parties les plus froides (MERGEN *et al.* 1964).

Toutefois, les auteurs ne s'entendent pas quant à l'impact des dimensions de la semence sur la qualité du semis produit. HADDERS (1963) et RIGHTER (1945) trouvent que les dimensions initiales du semis de conifères sont étroitement liées aux dimensions des semences. Par contre, même si la grosseur des semences du pin gris a une influence assez marquée sur la longueur et le nombre de cotylédons au moment où ceux-ci ont atteint leur plein développement (YEATMAN 1964), cela ne veut pas nécessairement dire que cette différence de croissance précoce, aussi significative soit-elle, persistera et s'accentuera au cours des années à venir.

Au contraire, d'après certains auteurs (BURGER 1964, WRIGHT et BULL 1962, SHOULDERS 1961) il y a lieu de croire que la croissance subséquente des semis est indépendante de la grosseur des semences utilisées et serait davantage liée à l'effet combiné du génotype et de l'influence du milieu. Bref, à partir d'un certain stade de sa croissance, le phénotype de l'embryon n'affecterait pas celui du plant. D'autre part, BEAUDOIN (1973) montre que la germination des semences n'est en rien affectée par leur poids.

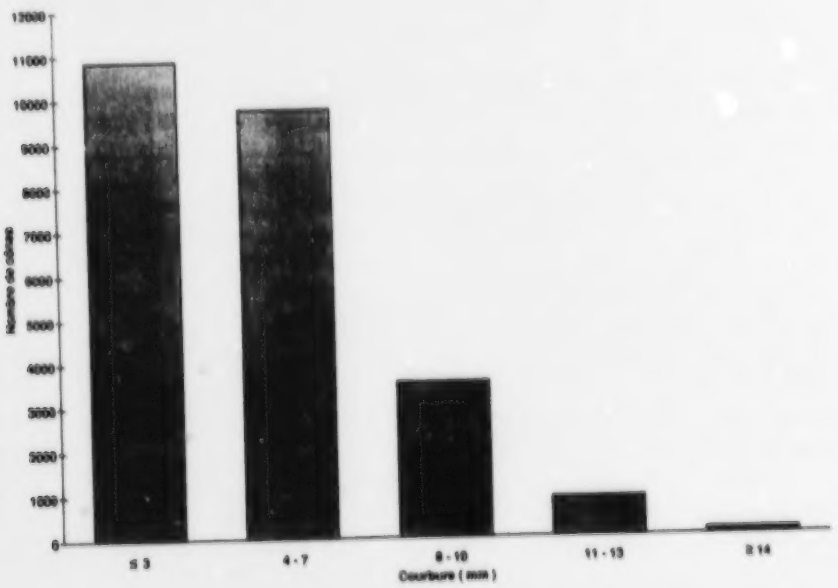

Figure 12. Histogramme du nombre de cônes par classe de courbure

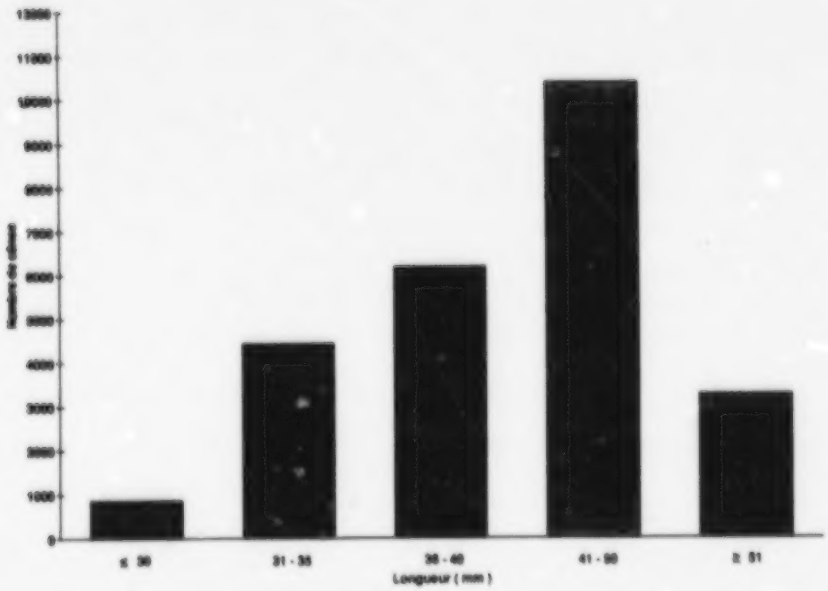

Figure 13. Histogramme du nombre de cônes par classe de longueur

Tableau 18. Comparaison de certains paramètres liés aux semences de pin gris entre la moyenne pour le pin gris et ceux obtenus dans l'étude

Paramètres	Moyenne pour l'espèce[1]	Moyenne observée dans l'étude[2]
Poids pour 1 000 semences	3,90 g	3,34 g
Poids des semences par arbre semencier	65 g	33 g[3]
Nombre de semences viables par arbre semencier	16 600	9 865[3]
Nombre de cônes par arbre semencier	1 210	438[3,4]
Volume de cônes par arbre semencier	0,160 hl	0,092 hl[3]
Nombre de cônes par hectolitre	7 550	4 761[3]
Longueur des cônes	40 à 50 mm	35 à 50 mm
Nombre de semences par cône	21	24,75
Rendement	405 g/hl	632 g/hl (667 g/hl[5])
Taux de germination	83,5%	91%[4]

[1] D'après Hawley (1982)
[2] *N* = 39 743 cônes et 221 arbres (cônes de 0-3 ans)
[3] Données obtenues sur la base d'une partie des cônes portés par le semencier
[4] Résultat obtenu à partir des cônes de tous âges
[5] D'après Stoeckeler et Jones (1957)

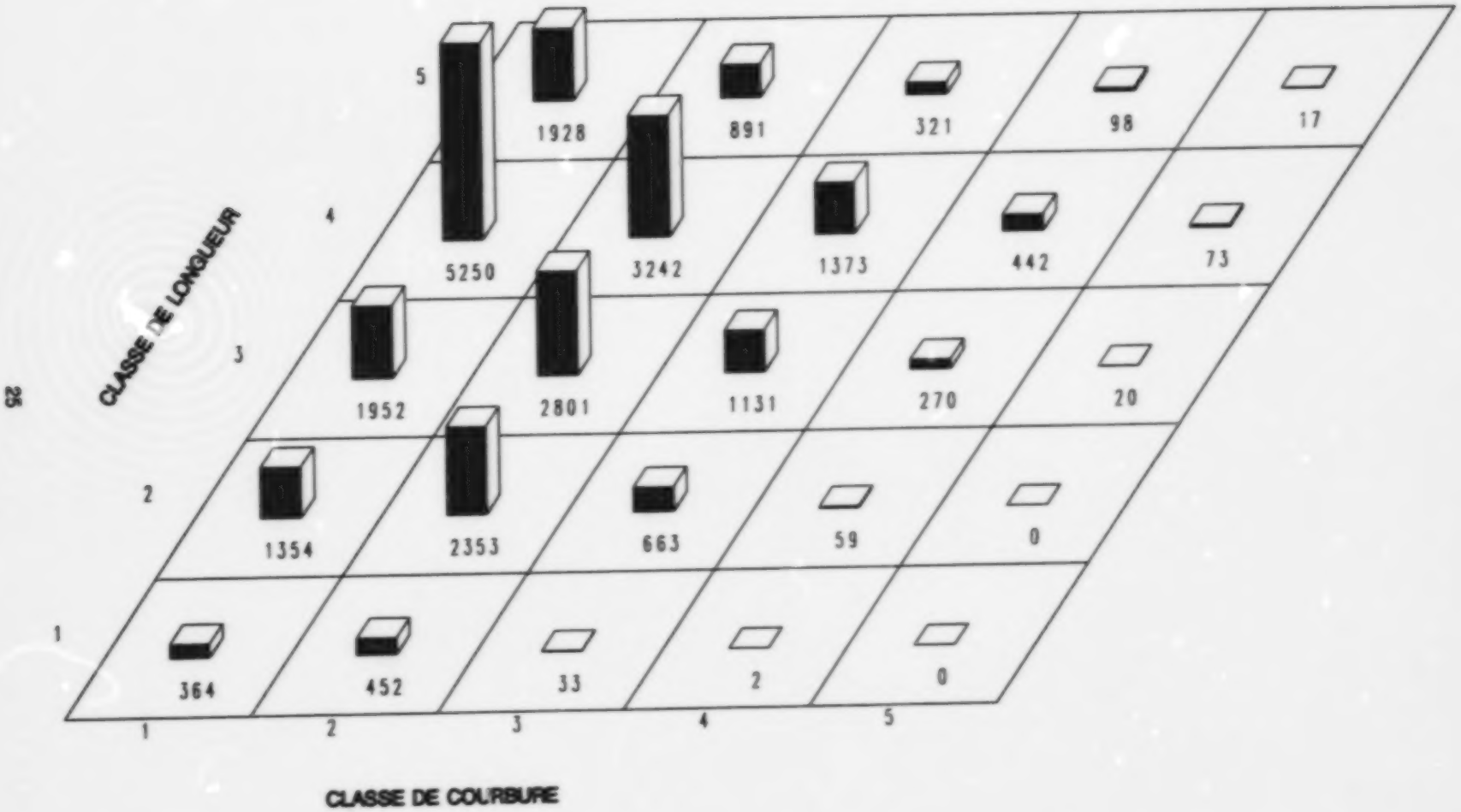

Figure 14. Histogramme du nombre de cônes par classe morphologique

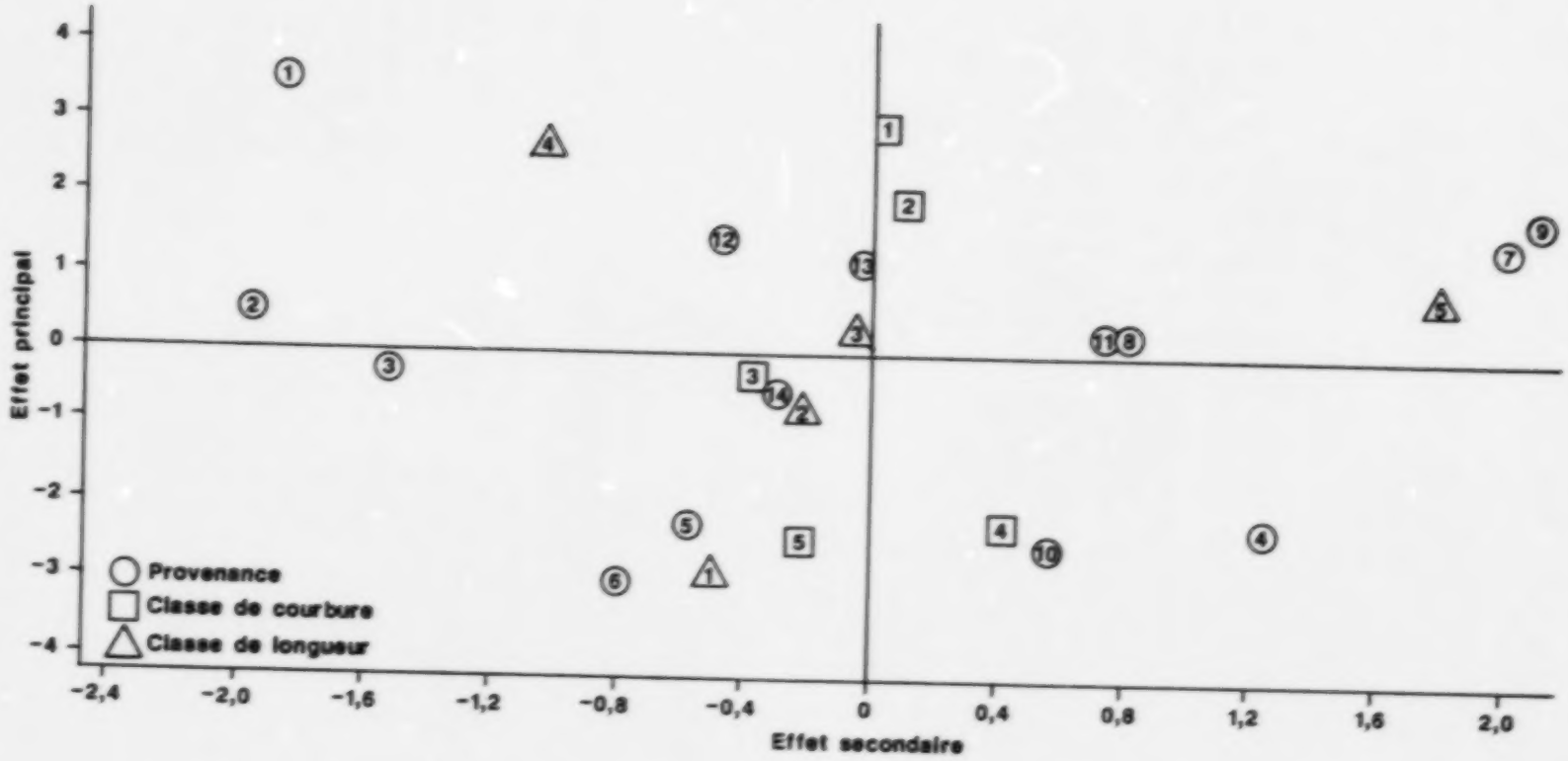

Figure 15. Analyse en composantes principales des provenances, des classes de courbure et des classes de longueur. Dans cette représentation, la proximité de deux éléments d'un même ensemble traduit la similitude de leur profil. La proximité de deux éléments appartenant à deux ensembles distincts traduit l'importance d'un élément dans la définition de l'autre élément (Montgomery 1986)

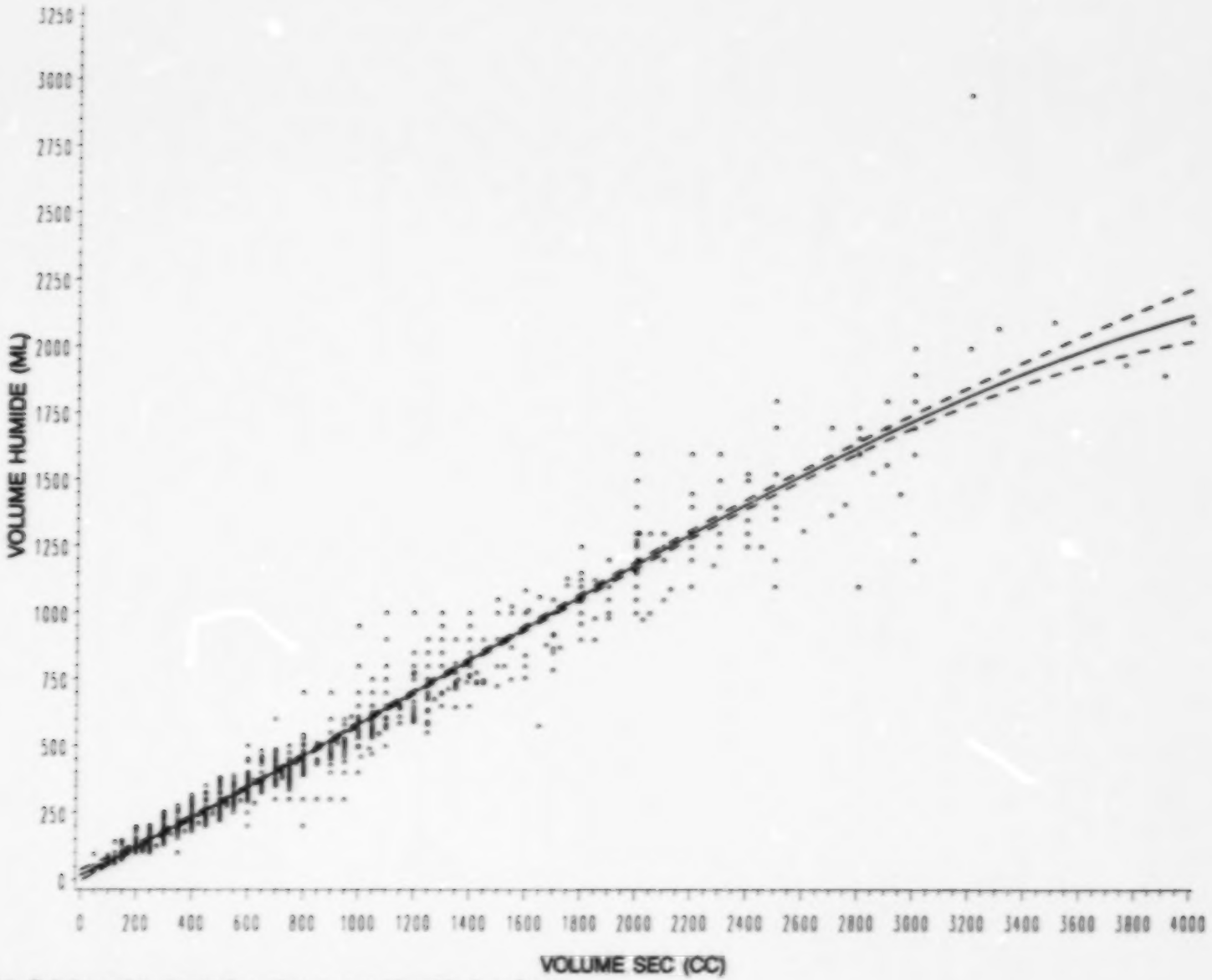

Figure 16. Relation existant entre les volumes sec et humide des cônes
(Les lignes pointillées représentent les intervalles de confiance)

Pour toutes ces raisons, nous considérerons dans nos recommandations que le poids des semences n'affecte pas la qualité du plant produit, bien que nous suggérions fortement que l'étude de l'impact de la grosseur de la semence sur le phénotype du plant soit plus approfondie.

Enfin, il serait bon de rappeler que cette section porte sur les cônes sains de 0 à 3 ans.

2.4.1 Description de la forme typique des cônes de pin gris et informations connexes

Avant d'approfondir l'effet de la morphologie du cône sur la quantité et la qualité des semences, il est important de cerner la forme typique du cône de pin gris, c'est-à-dire la forme moyenne observée parmi les 40 000 cônes échantillonnés, ainsi que certains renseignements pratiques sur les semences produites.

Les figures 12 à 14 montrent la distribution des cônes selon leur courbure et leur longueur (on se référera au tableau 4 pour la correspondance des classes morphologiques).

On remarque dans un premier temps que les cônes qui ont une courbure inférieure à 3 mm sont en plus grand nombre, suivis de près par les cônes qui ont une courbure de 4 à 7 mm. En général, les cônes de pin gris sont donc relativement peu courbés et l'on en retrouve très peu qui aient une courbure supérieure à 10 mm.

D'autre part, la longueur moyenne des cônes se situe entre 36 et 50 mm (figure 13).

Ce sont donc surtout les classes morphologiques 16 et 17 qui sont les mieux représentées. Il est raisonnable de croire que cette forme typique peut s'appliquer aussi bien aux classes d'âge supérieure à 3 ans puisqu'il est peu probable que les cônes changent de forme (courbure ou longueur) après cet âge. Cependant, l'on ne peut être aussi affirmatif pour ce qui est des cônes piqués qui ont subi des malformations.

Nous avons voulu déterminer si la provenance avait une influence sur la morphologie des cônes. Existe-t-il une répartition spatiale des provenances selon les variations morphologiques ? L'examen de l'analyse en composantes principales fait ressortir de grandes divergeances entre les provenances (figure 15).

Il semble donc que les provenances 7 (Mont-Laurier) et 9 (Maniwaki) produisent les cônes les plus longs alors que les plus petits et les plus courbés se

Tableau 19. Test de corrélation de Pearson entre le volume sec des cônes ainsi que le poids, la quantité, le rendement et le taux de germination des semences de pin gris

	Volume sec des cônes	Poids des semences	Nombre de semences	Rendement en semences	Taux de germination
Volume sec des cônes	1,00000[1]	0,85168	0,84111	- 0,11770	0,08754
	0,0000[2]	0,0001	0,0001	0,0003	0,0053
	1022[3]	943	944	943	1013
Poids des semences		1,00000	0,96092	0,30271	0,11027
		0,0000	0,0001	0,0001	0,0005
		1013	968	943	999
Nombre de semences			1,00000	0,26607	0,07031
			0,0000	0,0001	0,0297
			970	942	956
Rendement en semences				1,00000	0,11037
				0,0000	0,0007
				943	936
Taux de germination					1,00000
					0,0000
					1077

1 Coefficient de corrélation de Pearson
2 Valeur de *p*
3 Nombre d'observations

retrouveront dans les provenances 5 (La Tuque) et 6 (Saint-Michel-des-Saints). Ceci indique en fait qu'il existe de grandes variations morphologiques selon les provenances, ce qui est en accord avec la littérature (STOEHR et FARMER 1986, VERGHEGGEN et FARMER 1983, BEAUDOIN 1973, HOLST 1962). La morphologie des cônes semble donc être un caractère qui est lié de près à la génétique du peuplement.

Enfin, nous avons comparé plusieurs paramètres qui sont liés à la production des semences du pin gris. Nous avons mis en parallèle les moyennes observées pour l'espèce et celles enregistrées dans notre étude (tableau 18). De façon générale, nos résultats sont nettement inférieurs aux moyennes pour le pin gris, à l'exception du nombre de semences par cônes, du rendement et du taux de germination.

2.4.2 Effet de la taille des cônes

La plupart des chercheurs qui se sont intéressés à l'effet de la grosseur des cônes sur la quantité et la qualité des semences ont exprimés leurs résultats en termes de poids des cônes plutôt que de volume.

BEAUDOIN (1973) trouve qu'il existe d'importantes variations de la taille des cônes du pin gris, non seulement entre les arbres d'un même peuplement mais également à l'intérieur de la production annuelle d'un même individu.

On peut affirmer que sur un même individu, les plus petits cônes sont susceptibles de fournir moins de semences que les cônes de plus fortes dimensions. Toutefois, nous connaissons mal le gradient qui relie le nombre de semences et le poids du cône.

De plus, certains auteurs ont obtenu des corrélations positives entre le poids sec des cônes, le nombre et le poids des semences (STOEHR et FARMER 1986, VERGHEGGEN et FARMER 1983) et le génotype de l'arbre (BEAUDOIN 1973). CARPENTIER et TREMBLAY (1972) affirment que la grosseur des cônes est en relation avec le taux de germination des semences.

Les dimensions des cônes sont ici exprimées en volume (sec et humide), paramètre qui se rapproche le plus de la réalité des opérations au Québec.

2.4.2.1 Relation existant entre le volume sec des cônes et les caractéristiques des semences produites

Le test de corrélation de PEARSON permet de déceler les interactions linéaires qui peuvent subsister entre le volume sec et la quantité ou la qualité de semences. Nous nous sommes donc intéressés à comparer le volume sec des cônes à quatre paramètres qui sont le poids, la quantité, le rendement et le taux de germination des semences (tableau 19).

Tableau 20. Analyse de variance et estimation des paramètres de régression entre le volume sec et le volume humide des cônes

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	27	163 691 964,42	6 062 665,35	892,47	0,0000***	0,96	15,31
Erreur	993	6 745 596,64	6 793,15				
Total corrigé	1020	170 437 561,67					

Source	dl	Type I SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Volsec X *Volhum*	1	161 170 752,21	23 725,49	0,0000***
Provenance	13	1 645 078,94	18,63	0,0001***
Volsec X *Volhum* X Prov.	13	876 133,28	9,92	0,0001***

Variable	dl	Paramètres estimés	Ecart type	T pour H_0 Paramètre = 0	Prob. |T|	R^2
Interception	1	1,42737	5,01725	0,284	0,7761	0,95
Volume sec	1	0,58135	0,00437	133,127	0,0001	

*** indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

De ce test, trois interactions linéaires ressortent :

- Volume sec des cônes *versus* poids des semences
- Volume sec des cônes *versus* nombre de semences
- Poids des semences *versus* nombre de semences.

La relation qui existe entre le volume sec des cônes et le poids des semences peut s'exprimer par la régression linéaire suivante :

$$PDS = 1{,}18 + 569{,}78\ VOLSEC$$

où *PDS* = Poids des semences (g)
VOLSEC = Volume sec des cônes (hl)

De la même manière, nous pouvons établir une seconde régression qui met en relation le volume sec des cônes avec le nombre de semences qu'ils contiennent :

$$NSEM = 182{,}999 + 168\,427{,}48\ VOLSEC$$

où *NSEM* = Nombre de semences
VOLSEC = Volume des cônes (hl).

Enfin, nous pouvons établir une dernière régression linéaire entre le nombre de semences et leur poids:

$$NSEM = 65{,}030209 + 2{,}95598\ PDS$$

où *NSEM* = Nombre de semences
PDS = Poids des semences (g).

La qualité de la semence, qui est exprimée en termes de rendement en semences et du taux de germination, n'est pas en relation avec le poids, la qualité et le volume sec des cônes (tableau 19).

2.4.2.2 Relation entre le volume sec et le volume humide

La mesure du volume sec des cônes présente l'avantage d'être beaucoup plus pratique que la mesure du volume humide. Toutefois, cette dernière permet d'obtenir une valeur qui est nettement plus précise que la précédente. C'est donc pour améliorer la précision de la mesure du volume sec que nous avons voulu établir la relation qui pourrait exister entre les deux types de volume.

Le tableau 20 indique qu'il existe une très forte relation entre les deux types de volume mais que cette relation est sérieusement affectée par la provenance. Il n'est donc pas possible de tirer une régression très précise entre les deux facteurs. La figure 16 présente l'écart par rapport à la droite.

Ainsi, la régression :

Volume humide (en ml) = 0,5813 x Volume sec (en cc)

peut servir d'estimation avec une précision d'environ 10 p. 100 de la valeur réelle.

2.4.3 Effet de la courbure et de la longueur du cône

Peu d'études ont mesuré la relation qui pouvait exister entre la longueur des cônes et la quantité et encore moins la qualité des semences qu'ils produisent. Il semble aller de soi que les cônes les plus longs auront le plus de graines. Mais qu'en est-il du rendement en semences ?

Dans la pratique courante, on suggère de ne pas cueillir de cônes dont la longueur est inférieure à 30 mm (ANONYME, 1987).

Quant à l'influence du degré de courbure sur le rendement en semences des cônes de pin gris, une étude de SCHANTZ-HANSEN (1941) a révélé qu'il s'avérait très avantageux de récolter les cônes droits. Cette information est également reprise dans les recommandations « opérationnelles » (ANONYME 1986, 1987).

Toutefois, BEAUDOIN (1973) révèle des écarts beaucoup moindres entre les différents degrés de courbure. Ces derniers résultats laissent croire que les cônes courbés peuvent être récoltés au même titre que les cônes droits.

Dans cette section, nous avons considéré la longueur et la courbure du cône comme deux paramètres séparés puisqu'il n'existe aucun lien qui unit les deux et que la classe morphologique semble être davantage liée à la longueur des cônes (tableau 21). Il semble plus pratique d'utiliser séparément les critères de longueur et de courbure que de se référer à la grille morphologique (tableau 4).

Tableau 21. Test de corrélation de PEARSON entre la courbure, la longueur et la classe morphologique des cônes

	Courbure	Longueur	Classe morphologique
Courbure	1,00000[1] 0,0000[2] 350[3]	0,00000 1,0000 350	0,19612 0,0002 350
Longueur		1,00000 0,0000 350	0,98058 0,0001 350
Classe morphologique			1,00000 0,0000 350

[1] Coefficient de corrélation de PEARSON
[2] Valeur de *p*
[3] Nombre d'observations

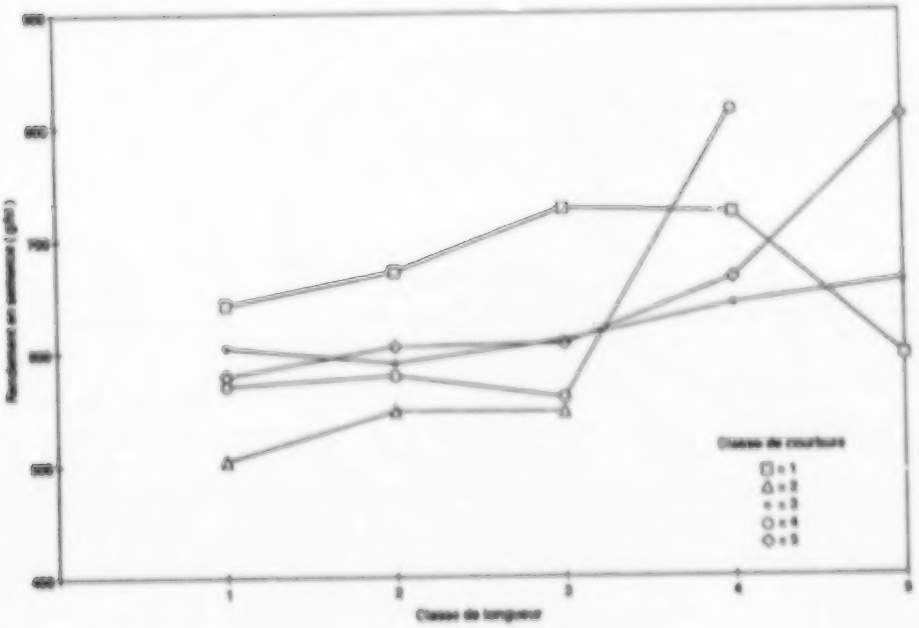

Figure 17. Interaction entre le rendement moyen en semences et les classes de longueur pour chacune des classes de courbures

Tableau 22. Analyse de variance du rendement en semences entre les classes de longueur et les classes de courbure

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	21	337,40	16,07	1,27	0,1996	0,11	14,49
Erreur	207	2 622,39	12,67				
Total corrigé	228	2 959,80					

Source	dl	Type III SC	Valeur de *F*	PR > *F*
Courbure	4	87,21	1,72	0,1466
Longueur	4	42,52	0,84	0,5018
Courbure X longueur	24	103,74	0,63	0,8275

Tableau 23. Analyse de variance du nombre des semences par cône entre les classes de longueur et les classes de courbure

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	8	50,01	6,25	81,69	0,0001***	0,71	8,80
Erreur	256	19,59	0,08				
Total corrigé	264	69,60					

Source	dl	Type III SC	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*
Longueur	4	39,43	9,86	128,81	0,0001***
Courbure	4	4,52	1,12	14,74	0,0001***

*** indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

Tableau 24. Analyse de variance du poids des semences entre les classes de longueur et les classes de courbure

Source	dl	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*	R^2	C.V.
Modèle	8	635,24	79,40	80,60	0,0001***	0,71	17,75
Erreur	256	252,20	0,99				
Total corrigé	264	887,44					

Source	dl	Type III SC	Moyenne des carrés	Valeur de *F*	PR > *F*
Longueur	4	431,37	107,84	109,47	0,0001***
Courbure	4	348,34	87,08	88,40	0,0001***

*** indique la présence de différences très significatives avec un seuil de précision de 99 p. 100

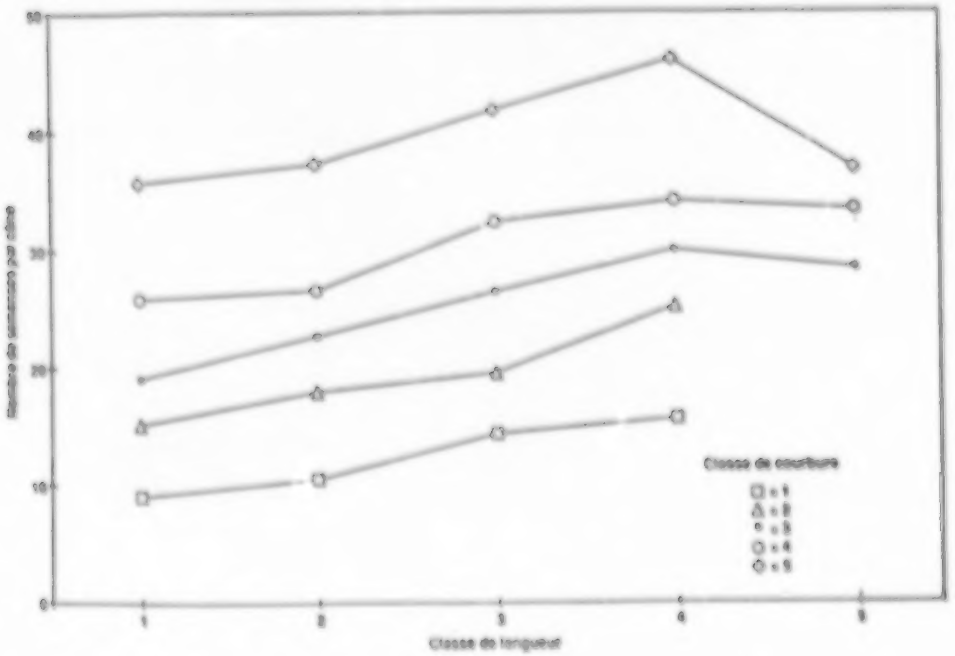

Figure 18. Interaction entre le nombre moyen de semences par cône et les classes de longueur pour chacune des classes de courbure

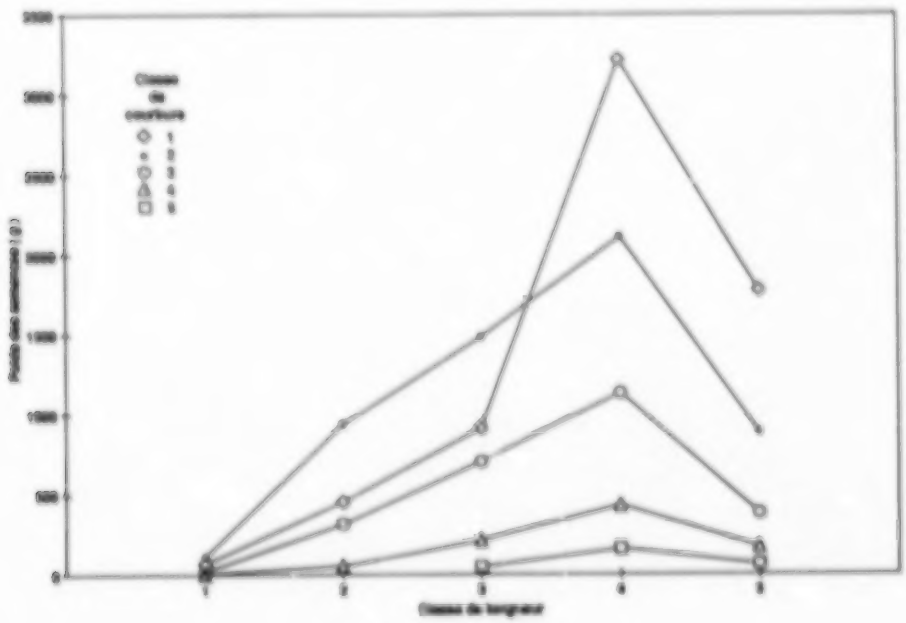

Figure 19. Interaction entre le poids des semences et les classes de longueur pour chacune des classes de courbure

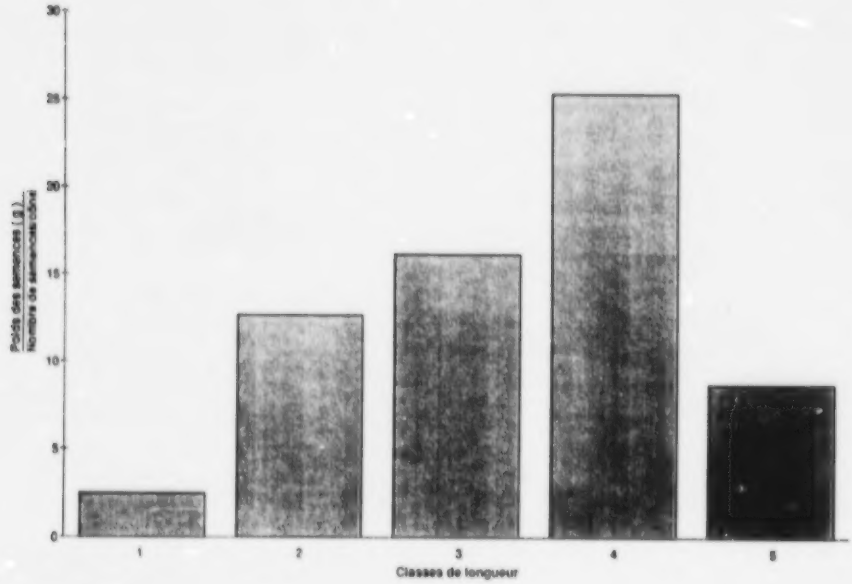

Figure 20. Histogramme du rapport entre le poids des semences et le nombre de semences par cône pour chaque classe de longueur

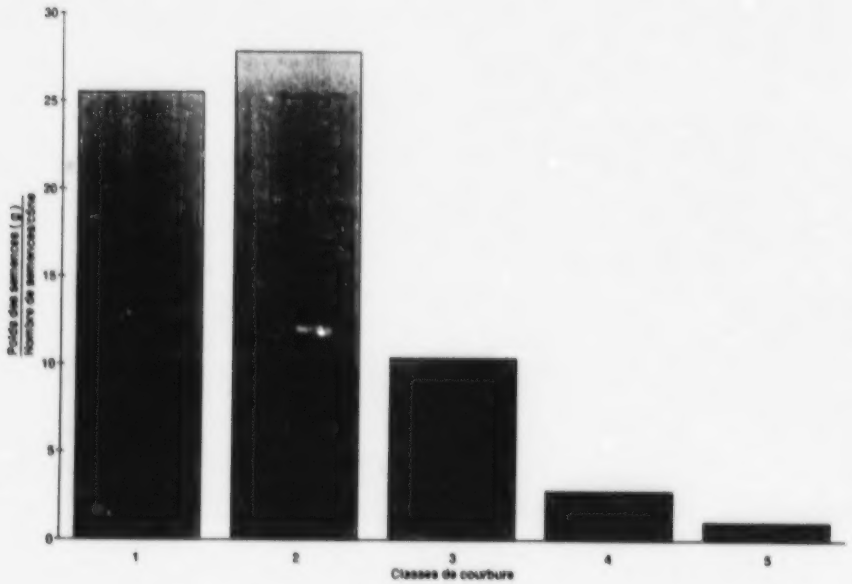

Figure 21. Histogramme du rapport entre le poids des semences et le nombre de semences par cône pour chaque classe de courbure

Cette étude ne permettait pas d'examiner le taux de germination par rapport à la morphologie du cône puisqu'aucune donnée n'était disponible à ce sujet. Nous nous sommes limités à étudier trois critères :

- le rendement en semences
- le nombre de semences par cône
- le poids des semences.

Lorsque l'on examine le rapport entre le poids des semences et le nombre de semences par cône, on s'aperçoit que les cônes qui sont les plus avantageux à récolter doivent avoir une longueur qui se situe entre 40 et 50 mm et une courbure inférieure à 7 mm. Ces classes morphologiques correspondent parfaitement à la description du cône typique que nous avons faite à la section 2.4.1.

2.4.3.1 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le rendement en semences

La figure 17 montre que la courbure ou la longueur du cône n'affecte en rien le rendement en semences. Cette observation est confirmée par l'analyse de variance (tableau 22)

2.4.3.2 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le nombre de semences par cône

La longueur et la courbure du cône affectent très significativement le nombre de semences par cône (tableau 23). De fait, on s'aperçoit, en réalisant un L.S.D. de FISHER, que la longueur du cône est proportionnelle au nombre de semences. Pour ce qui est de la courbure, on distingue deux groupes de classes : les classes 3, 4 et 5 produisent, indifféremment l'une par rapport à l'autre, plus de semences que les classes 1 et 2.

C'est donc dire que les cônes qui ont une courbure supérieure à 8 mm et une longueur supérieure à 50 mm sont les plus productifs en termes de quantité de semences (figure 18).

2.4.3.3 Relation entre la courbure et la longueur du cône, et le poids des semences

L'analyse de variance indique qu'il existe des liens très significatifs entre le poids des semences et la morphologie du cône (tableau 24).

À première vue, ce résultat peut sembler surprenant puisqu'il ne décèle aucun lien entre la forme du cône et le rendement en semences, qui s'exprime en poids de semences par le volume sec des cônes (voir section 2.4.3.1).

La solution réside certainement dans le fait que la longueur et la courbure du cône n'ont pas de rapport direct avec le volume sec des cônes.

L'observation de la figure 19 et la réalisation d'un L.S.D. de FISHER montrent que les cônes de 40 à 50 mm possèdent des semences qui sont au moins deux fois plus pesantes que celles des autres classes de longueur.

De la même manière, les cônes qui ont une courbure inférieure à 7 mm possèdent des semences qui ont un poids au moins deux fois supérieur à celui des cônes plus courbés. Les cônes courbés contiennent plus de semences, mais ces graines sont de plus petite taille.

Chapitre III

Synthèse et recommandations

3.1 Effet de l'âge du cône sur la quantité et la qualité des semences

– L'âge du cône n'affecte pas la viabilité des semences jusqu'à une limite de 6 ans inclusivement.

– Le rendement en semences (g/hl) est davantage lié à la génétique de l'arbre qu'à l'âge du cône.

– L'âge du cône n'affecte pas de façon pratique la quantité de semences par cône.

RECOMMANDATION :

Il est préférable de récolter les cônes jusqu'à l'âge de 6 ans. Ceci revient à dire qu'il ne faudrait pas récolter les cônes qui se situent à plus du huitième verticille de chacune des branches.

3.2 Effet de l'état phytosanitaire des cônes sur la quantité et la qualité des semences

– Les cônes piqués produisent des semences qui ont la même viabilité que celles des cônes sains.

– Les cônes piqués produisent en général 25 p. 100 moins de semences, en période endémique, que les cônes sains.

– Le poids des semences n'est pas lié à l'état phytosanitaire des cônes.

RECOMMANDATION :

Bien qu'elles soient d'aussi bonne qualité, les semences issues de cônes piqués reviennent plus cher à l'hectolitre que celles des cônes sains. Toutefois, elles peuvent être utilisées pour combler les manques à gagner.

3.3 Effet de la morphologie du cône sur la quantité et la qualité des semences

– Le cône de pin gris typique mesure entre 35 et 50 mm et possède une courbure inférieure à 3 mm.

– Il existe des relations linéaires entre le poids des semences, le nombre de semences et le volume des cônes. Ces relations peuvent s'exprimer mathématiquement par :

$$PDS = 1{,}18 + 569{,}78\ VOLSEC$$

$$NSEM = 182{,}999 + 168\,427{,}48\ VOLSEC$$

$$NSEM = 65{,}030209 + 2{,}95598\ PDS$$

$$VOLHUM = 0{,}5813\ VOLSEC$$

où *PDS* = Poids des semences (g)
NSEM = Nombre de semences
VOLHUM = Volume humide des cônes (ml)
VOLSEC = Volume sec des cônes (cc).

– Le taux de germination et le rendement en semences (g/hl) ne sont pas affectés par la forme du cône, c'est-à-dire sa longueur, sa courbure, son volume ou les trois.

– Il n'existe aucune relation qui unit la courbure et la longueur du cône.

– Les cônes courbés produisent plus de semences que les cônes droits.

– Toutefois, les cônes qui ont une courbure inférieure à 7 mm possèdent des semences qui ont un poids au moins deux fois supérieur à celui des semences des cônes plus courbés.

– Les cônes qui ont une longueur supérieure à 40 mm possèdent des semences de plus fortes dimensions.

RECOMMANDATIONS :

Les cônes qui ont une courbure supérieure à 8 mm et une longueur supérieure à 50 mm sont les plus productifs en termes de quantité de semences.

Les graines provenant des cônes courbés sont de plus petite taille. Toutefois, selon la littérature, la taille des semences n'affecte pas la qualité des plants produits, de sorte qu'il est souhaitable, jusqu'à preuve du contraire, de cueillir les cônes le plus longs et le plus courbés possible.

Il est possible d'utiliser les équations décrites ci-dessus pour estimer le poids des semences, le nombre de semences ou le volume des cônes.

Références

ANONYME, 1986. *La récolte des cônes*. Gouvernement du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Publication 4415.

ANONYME, 1987. *L'aide-mémoire du cueilleur de cônes de pin gris*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Service de la régénération forestière, n° 4452, 3 p.

BEAUDOIN, R.,1973. *Rendements en semences des différents niveaux de la cime du pin gris*. Thèse de maîtrise, Université Laval, 94 p.

BURGER, R.J., 1964. *The effect of seed size on germination survival and initial growth of white spruce*. For. Chron. 40 : 93-97.

CARPENTIER, F. et J.-P. TREMBLAY, 1972. *Germination et nombre de semences au kilogramme pour diverses espèces d'arbres cultivés dans les pépinières forestières au Québec*. Gouv. du Québec, min. des Terres et Forêts, Pépinière de Berthierville, rapport interne, 49 p.

CHROSCIEWICZ, Z., 1988. *Jack pine regeneration following postcut burning under seed trees in Central Saskatchewan*. For. Chron. 64(4) : 315-319.

EDWARDS, D.G.W. 1986. *Cone prediction, collection and processing*. Pacific Forestry Center, Canadian Forestry Service 78-102 : 78-102.

GAGNON, R. et H. MORIN, 1987. *Germination des graines de* Picea mariana *et de* Pinus banksiana *soumises à des températures de 120 ° C pendant 1 heure*. Ann. Meet. Can. Bot. Ass., Université de Montréal. 1 p.

GRANDTNER, M.M., 1966. *La végétation forestière du Québec méridional*. Les Presses de l'Université Laval. 215 p.

HADDERS, G., 1963. *Some causes of variation in the initial development of scots pine* (Pinus sylvestris). Proc. World Consultation For. Genet. Tree Impr., Stockholm. FAO/FORGEN 63-2a/8, 10 p.

HAWEY, R., 1982. *Petit manuel des semences forestières résineuses au Québec*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Serv. des pépinières et du reboisement, 39 p.

HOLST, M., 1962. *Seed selection and tree breeding in Canada*. Forest Research Branch, Technical Note No. 115, 20 p.

HON, D.C. et D.C. ELDRIDGE, 1981. *Cone rate trials in Nova Scotia*. Nova Scotia Dept. of Lands and Forests. 10 p.

I.S.T.A., 1985. *International rules for seed testing 1985*. Seed Science and Technology 13(2) : 307-520.

LAMONTAGNE, Y. et S. BÉGIN, 1984. *Répertoire des cantons et des seigneuries par zone de récolte de cônes et de reboisement*. Gouv. du Québec, Min. de l'Énergie et des Ress., Serv. des pépinières et du reboisement, 98 p.

LAMONTAGNE, Y. et M. FERNET, 1971. *Rendement en semences de diverses espèces d'arbres cultivés dans les pépinières forestières au Québec*. Gouv. du Québec, min. des Terres et Forêts, Pépinière forestière de Berthier, rapport interne, 8 p.

LAMONTAGNE, Y. et M. FERNET. 1972. *Germination et nombres de semences au kilogramme pour diverses espèces d'arbres cultivés dans les pépinières forestières au Québec*. Gouv. du Québec, min. des Terres et Forêts, Pépinière forestière de Berthier, rapport interne, 49 p.

LYONS, L.A., 1956. *The seed production capacity and efficiency of red pine cones*. Can. J. Bot. 34 : 27-36.

MERGEN, F., J. BURLEY et B.A. SIMPSON, 1964. *Artificial hybridation in* Abies. Der Zuchter 34 : 242-251.

MONTGOMERY, D.C., 1986. *Design and analysis of experiments*. John Wiley and Sons, 506 p.

MORISSETTE, T., 1990. *La récolte de semences forestières*. Les Publications du Québec, 124 p.

NIKONUK, J.N., 1970. *Long-term retention of viability in Pinus banksiana seeds*. For. Abstr. 31(4138) : 494.

POPOVICH, S., 1969. *Relation entre le type forestier et la production de cônes et semences dans un peuplement de pin gris de 65 ans*. Min. Pêches et Forêts Can., Q-FX-1, 17 p.

POPOVICH, S., A. DEMERS et D.J. GAGNON, 1970. *Production en cônes et semences d'un peuplement de pin gris de 65 ans de la région boréale du Québec*. Naturaliste Can. 97 : 553-558.

RIGHTER, F.I., 1945. *Pinus relationship of seed size and seedling size to inherent vigor*. J. For. 43 : 131-137.

RUDOLF, P.O. et R.A. RALSTON, 1953. *Do age of mother trees and age of cones affect development of young jack pine ?* J. For. 51 : 121-124.

SCHANTZ-HANSEN, T., 1941. *A study of jack pine seed*. J. For. 39 : 980-990.

SCHOPMEYER, C.S., 1974. *Seeds of woody plants in the United States*. Washington, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Agric. Handbook 450. 883 p.

SHOULDERS, E., 1961. *Effect of seed size on germination, growth, and survival of slash pine*. J. For. 59 : 363-365.

STOECKELER, J.H. et G.W. JONES, 1957. *Forest nursery practice in the Lake States*. U.S.D.A., For. Serv., Agric. Handbook No. 110.

STOEHR, M.V. et R.E. FARMER, 1986. *Genetic and environmental variance in cone size, seed yield, and germination properties of black spruce clones*. Can. J. For. Res. 16 : 1149-1151.

THIBAULT, M. et D. HOTTE, 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ress., Service de la recherche forestière et S. de la cartographie, M.E.R., Carte au 1 : 1 250 000.

TODHUNTER, M.N. et R.B. POLK, 1981. *Seed and cone production in a clonal orchard of jack pine*. Can. J. For. Res. 11 : 512-516

VERGHEGGEN, F.J. et R.E. FARMER, 1983. *Genetic and environmental variance in seed and cone characteristics of black spruce in a Northwestern Ontario seed orchard*. For. Chron. : 191-193.

VÉZINA, P.-É., 1978. *La création de peuplements artificiels : pépinière et reboisement*. Les Presses de l'Université Laval. 97 p.

WANG, B.S.P., 1972. *Information service and seed distribution*. Can. For. Serv., Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River : 147-151.

WANG, B.S.P., 1988. Review of new developments in tree seeds. Seed Science and Technol. 16 : 215-225.

WRIGHT, J.W. et W.I. BULL, 1962. *Geographic variation in European black pine - Two year results*. For. Sci. 8 : 32-42.

YEATMAN, C.W., 1964. *Genetic variation in seedlings of jack pine provenances grown in controlled environments*. Prog. Rep. 9th Meet. Comm. For. Tree Breeding Can. Proc. : 135-140.

MERCIER, Stephan, Thomas MORRISSETTE et Dominique BLANCHETTE ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-21657-1

1991 *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Direction de la recherche, Mémoire de recherche forestière n° 101. viii + 42 p. Rés. angl. p. vii.

Par la morphologie, l'âge et l'état phytosanitaire des cônes au moment de leur récolte, on peut déterminer la qualité et le rendement en semences du pin gris. Les cônes courbes de plus de 8 mm et plus longs que 50 mm sont les plus productifs. Les graines des cônes courbés ont toutefois un poids frais moins élevé que la moyenne. Des régressions permettent d'estimer la valeur totale des cônes récoltés, le poids et le nombre des semences. Les cônes du pin gris sont sérotineux et se maintiennent durant plusieurs années sur l'arbre. L'âge du cône n'affecterait ni la quantité ni le rendement des semences mais on recommande de récolter les cônes jusqu'à 6 ans inclusivement. Les semences des cônes piqués ont la même viabilité que celles des cônes sains même si elles sont en général 25 pour 100 moins nombreuses.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .P66 FQ91-3026

Mots-clés: pin gris, *Pinus banksiana* (Alt.) Dumont, cônes sérotineux, semences, récolte, morphologie, phytosanitaire, sélection, qualité des semences.

MERCIER, Stéphan, Thomas MORRISSETTE et Dominique BLANCHETTE ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-21657-1

1991 *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Direction de la recherche, Mémoire de recherche forestière n° 101. viii + 42 p. Rés. angl. p. vii.

Par la morphologie, l'âge et l'état phytosanitaire des cônes au moment de leur récolte, on peut déterminer la qualité et le rendement en semences du pin gris. Les cônes courbés de plus de 8 mm et plus longs que 50 mm sont les plus productifs. Les graines des cônes courbés ont toutefois un poids frais moins élevé que la moyenne. Des régressions permettent d'estimer la valeur totale des cônes récoltés, le poids et le nombre des semences. Les cônes du pin gris sont sérotineux et se maintiennent durant plusieurs années sur l'arbre. L'âge du cône n'affecterait ni la quantité ni le rendement des semences mais on recommande de récolter les cônes jusqu'à 6 ans inclusivement. Les semences des cônes piqués ont la même viabilité que celles des cônes sains même si elles sont en général 25 pour 100 moins nombreuses.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .P66 FQ91-3026

Mots-clés: pin gris, *Pinus banksiana* (Alt.) Dumont, cônes sérotineux, semences, récolte, morphologie, phytosanitaire, sélection, qualité des semences.

MERCIER, Stéphan, Thomas MORRISSETTE and Dominique BLANCHETTE ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-21657-1

1991 *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité [Evaluation of jack pine cones in view of harvesting quality seed]*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Direction de la recherche, Forest research Mémoire No. 101. viii + 42 p. In French with English abstract.

Morphology, age and phytosanitary condition of jack pine cones were used to predict seed yield and quality. Cones longer than 50 mm and with a marked curve (8 mm deviation from axis) yielded the maximum seed number. However, seeds extracted from curved cones had the lowest fresh weight values. Regressions were used to estimate total volume of cone crop, seed fresh weight, and seed number. Jack pine cones are serotinous and remain on the tree for several years. Seed number and quality were unaffected by cone age but we recommend collecting the cones before they are 7 years old. Diseased or insect-damaged cones yielded 25 percent less seeds than healthy cones without any change in seed viability.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .P66 FQ91-3026

Key-words: jack pine, *Pinus banksiana* (Alt.) Dumont, serotinous cone, cone collection, cone morphology, cone conditions, seed quality.

MERCIER, Stephan, Thomas MORRISSETTE and Dominique BLANCHETTE ISSN 1183-3912
ISBN 2-550-21657-1

1991 *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité [Evaluation of jack pine cones in view of harvesting quality seed]*. Gouv. du Québec, min. des Forêts, Direction de la recherche, Forest research Mémoire No. 101. viii + 42 p. In French with English abstract.

Morphology, age and phytosanitary condition of jack pine cones were used to predict seed yield and quality. Cones longer than 50 mm and with a marked curve (8 mm deviation from axis) yielded the maximum seed number. However, seeds extracted from curved cones had the lowest fresh weight values. Regressions were used to estimate total volume of cone crop, seed fresh weight, and seed number. Jack pine cones are serotinous and remain on the tree for several years. Seed number and quality were unaffected by cone age but we recommend collecting the cones before they are 7 years old. Diseased or insect-damaged cones yielded 25 percent less seeds than healthy cones without any change in seed viability.

O.D.C. 232.312(047.3)(714)
L.C. SD 402 .P66 FQ91-3026

Key-words: jack pine, *Pinus banksiana* (Alt.) Dumont, serotinous cone, cone collection, cone morphology, cone conditions, seed quality.